

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Avaliação da Eficiência de Coagulantes e Floculantes na
Remoção de Fósforo em Efluentes de Frigorífico de Suínos**

Mateus Fonseca Rodrigues

Pelotas, 2016

MATEUS FONSECA RODRIGUES

**Avaliação da Eficiência de Coagulantes e Floculantes na
Remoção de Fósforo em Efluentes de Frigorífico de Suínos**

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vanessa Sacramento Cerqueira
Co-orientador: Prof. Dr. Michel David Gerber

Pelotas, 2016

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Vanessa Sacramento Cerqueira - Centro de
Engenharias/UFPel - Orientadora

Prof^a. Dr^a. Adriana Gonçalves da Silva Manetti - Centro de
Engenharias/UFPel

Prof^a. MSc. Iliane Muller Otto–Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Pelotas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Leomar e Darlene por todo apoio e por acreditarem em mim quando tomei a decisão de mudar de cidade e faculdade. Toda a minha formação acadêmica e pessoal passa pelo esforço e dedicação que ambos tiveram comigo. Aos meus irmãos Igor e Vinícius, por estarem sempre ao meu lado e pela união e amizade que construímos.

Aos meus tios Carlos e Claudia que me acolheram nos primeiros meses em Pelotas e que sempre estiveram dispostos a me ajudar no que estivesse ao alcance deles.

Aos meus orientadores Vanessa Cerqueira e Michel Gerber que me apoiaram na elaboração deste trabalho com seus conhecimentos e não apenas me auxiliaram a vencer as dificuldades como me motivaram a buscar o melhor resultado.

Aos sócios da Ecocell Consultoria e Tecnologia, Wagner Gerber e Michel Gerber, que me proporcionaram a realização deste trabalho juntamente com o estágio na empresa, e que muito contribuíram para o meu crescimento técnico ao longo deste ano.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Pelotas, que mesmo com todas as dificuldades enfrentadas, sempre se esforçaram pelo bem do curso. Em especial aos professores Maurizio Quadro, Vanessa Cerqueira, Claudia Lemons, Amauri Barcellos e Luciana Bilhalva Correa.

A todos os amigos e colegas que tive ao longo destes anos em Pelotas, principalmente Gustavo F., Carolina D. e aos membros do grupo *Turma 2010*: Alana F., Anita A., Bianca P., Camila F., Davi S., Gustavo “Abel” B., Karen B., Kassia B. e Matheus S., por toda parceria nos momentos bons e difíceis que passei em Pelotas, pela amizade, noites de estudos e xerox de cadernos que contribuíram de forma significativa para que eu chegasse nesta etapa final do curso. Eu sei que muitas destas amizades levarei para sempre.

RESUMO

RODRIGUES, Mateus Fonseca. **Eficiência de Coagulantes e Floculantes na Remoção de Concentração de Fósforo em Efluente de Frigorífico de Suínos.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Nos matadouros e frigoríficos, os efluentes são gerados em grande quantidade e representam um problema sério pelo seu alto teor de matéria orgânica e nutrientes, e o lançamento desses despejos in natura acarreta severos prejuízos ao meio ambiente. Grande parte dos materiais presentes em um efluente e responsáveis por sua contaminação, não são passíveis de serem removidos pela simples separação física. Os processos físico-químicos aplicados com o objetivo de clarificar efluentes são baseados na desestabilização dos colóides por coagulação/floculação, e separação das fases por sedimentação ou flotação. O presente trabalho buscou um estudo comparativo sobre a clarificação, formação de floco e a eficiência de remoção de fósforo em efluentes brutos provenientes de um frigorífico de suínos por três diferentes coagulantes: Policloreto de Alumínio (PAC), Sulfato de Alumínio e Tanino Vegetal; e por dois floculantes: Polímero Catiônico e Polímero Aniônico. O estudo foi dividido em duas etapas utilizando efluente bruto para cada ensaio de tratabilidade, onde, a primeira etapa foi realizada com o objetivo de definir a melhor combinação entre os coagulantes e os floculantes estudados visando eliminar as combinações que não reagiriam com o efluente e definir as dosagens a serem utilizadas na etapa seguinte. Na segunda etapa foram reproduzidos os ensaios que apresentaram os melhores resultados de clarificação e sedimentação a fim de avaliar os parâmetros de tratabilidade e compara-los com os valores estabelecidos pela legislação vigente. Os ensaios com coagulantes sulfato de alumínio e tanino vegetal, mostraram melhor resultado nos parâmetros visuais de clarificação quando passaram pelo processo de ajuste de pH, ajustado à 8,5, enquanto que todos os ensaios utilizando o coagulante PAC não mostraram bons resultados na clarificação do efluente. O ensaio em que foi empregado o sulfato de alumínio com ajuste de pH para 8,5 obteve o melhor resultado na eficiência de remoção de fósforo (91%) entre todas as avaliações realizadas nos ensaios de tratabilidade. Os índices de remoção de nutrientes atingidos neste trabalho são considerados satisfatórios, atendendo as exigências da Resolução CONSEMA 128/2006 e estando acima dos resultados atuais da unidade industrial de tratamento de efluentes do frigorífico em relação a remoção de fósforo.

Palavras-chave: Águas residuárias, Clarificação, Frigorífico, Nutrientes, Suínos

ABSTRACT

RODRIGUES, Mateus Fonseca. **The Efficiency of Coagulants and Flocculants in Removing Phosphorus Concentration from Swine Slaughterhouses Effluents.** 2016. Course Completion Project (CCP). Bachelor Degree in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Effluents are generated in large amounts in slaughterhouses and cold stores and pose a serious problem when dumped *in natura* due to the high content of organic matter and nutrients, causing severe damage to the environment. Most part of the materials responsible for contamination present in an effluent are not susceptible to be removed by simple physical separation. The physio-chemical processes applied for clarifying wastewater are based on the destabilization of the colloid by coagulation / flocculation, and separation of the phases by sedimentation or flotation. This monography sought a comparative study on the clarification, flake formation and phosphorus removal efficiency in raw effluent from a swine slaughterhouse by three different coagulants: Aluminium Polychloride, Aluminum Sulfate and Vegetable Tannin; and two flocculants: Cationic Polymer and Anionic Polymer. The study was divided in two stages using raw effluent for each test treatability. The first step was performed in order to determine the best combination of the studied coagulants and flocculants to eliminate the combinations that do not react with the effluent and to define the dosages to be used in the next step. During the second stage, trials that showed the best results of clarification and sedimentation were replicated in order to evaluate the treatability parameters and to compare them with the values established by law. The best results in visual parameter were shown in tests with aluminum sulfate coagulants and vegetable tannin, when pH levels were adjusted, adjusted for 8,5 while that all tests with PAC coagulant did not show good results in clarifying the effluent. The test that was used aluminum sulfate to adjust the pH to 8.5 had the best result in phosphorus removal efficiency of all evaluations conducted in treatability test. The nutrient removal rates achieved in this study are considered satisfactory, once they meet the requirements of CONSEMA's Resolution 128/2006 and are above the present results obtained in the industrial unit currently handling the slaughterhouses effluents relative to phosphorus removal.

Keywords: Wastewater, Clarification, Cold store, Nutrients, Swines

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 . OBJETIVOS	16
1.1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivo Específico	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. Tratamento para Efluentes de matadouro	17
2.2. Estação de Tratamento de Efluentes.....	18
2.2.1. Tratamento Preliminar.....	19
2.2.2. Tratamento primário.....	19
2.2.2.1. Coagulação	20
2.2.2.1.1. Coagulantes utilizados.....	21
2.2.2.2. Floculação	23
2.2.2.2.1. Floculantes utilizados.....	24
2.2.2.3. Sedimentação/Decantação	25
2.2.3. Tratamento secundário	25
2.2.4. Tratamento terciário	26
2.3. Parâmetros importantes no tratamento de efluentes	26
2.3.1. Vazão.....	26

2.3.2.	pH	27
2.3.3.	Temperatura	27
2.3.4.	DBO	27
2.3.5.	DQO.....	27
2.3.6.	Sólidos	28
2.3.7.	Óleos e graxas.....	28
2.3.8.	Nitrogênio e Fósforo.....	28
2.4.	Remoção de fósforo	28
2.5.	Técnica para determinação de dosagens – Teste de Jarros	30
3.	METODOLOGIA	31
3.1.	Caracterização da ETE.....	31
3.2.	Seleção da dosagem ideal de cada coagulante	32
3.2.1.	Primeira etapa – Determinação de produtos e dosagens	33
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1.	Avaliação dos ensaios de tratabilidade.....	35
4.2.	Caracterização físico química do efluente	37
4.3.	Eficiência de remoção dos parâmetros de DQO e Fósforo	39
5.	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIA	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração do funcionamento de coagulação.	20
Figura 2. Sistema de tratamento de Efluentes do Matadouro	31
Figura 3. Ensaio de tratabilidade com coagulante PAC (ensaio 1)	36
Figura 4. Ensaio de tratabilidade com coagulante tanino (ensaio 8)	36
Figura 5. Ensaio de tratabilidade com coagulante sulfato de alumínio (ensaio 9)	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrão de emissão para parâmetros NTK, Fósforo e Coliformes Termotolerantes	29
Tabela 2. Metodologia, conforme APHA (2012)	32
Tabela 3. Ensaio de coagulação e floculação	33
Tabela 4. Resultado dos ensaios de tratabilidade.....	35
Tabela 5. Resultados da determinação de DQO, fósforo e pH	37
Tabela 6. Percentual de remoção de DQO e fósforo	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABPA: Associação Brasileira de Proteína Animal

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA: Conselho Estadual de Meio Ambiente

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

ETE: Estação de Tratamento de Efluentes

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PAC: Policloreto de Alumínio

pH: Potencial Hidrogeniônico

1. INTRODUÇÃO

Estudos e investimentos na suinocultura posicionaram o Brasil em quarto lugar no ranking de produção e exportação mundial de carne suína, exportando 505 mil toneladas no ano de 2014. Como consequência, a produção vem crescendo em torno de 4% ao ano, sendo os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul os principais produtores de suínos do País. No ano de 2015, a produção de carne suína registrou 3.524 mil toneladas (ABPA, 2016).

Em 2016, as exportações brasileiras de carne suína totalizaram 99,3 mil toneladas no primeiro bimestre, número 77,5% superior ao registrado em igual período do ano de 2015 (SUÍNOCULTURA INDUSTRIAL, 2016). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016), o Brasil representa 10% do volume exportado de carne suína no mundo.

Segundo previsão da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), somente em 2016, espera-se um crescimento na produção de carne suína na ordem de 2,0%, podendo chegar a 3,0%. Outro dado recente que aponta o crescimento do setor foi divulgado recentemente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), que apontou o abate de suínos em 2015 como o maior já registrado, atingindo 39,26 milhões de cabeças e 3,43 milhões de toneladas

Os problemas ambientais gerados pela atividade de frigoríficos estão relacionados com os seus despejos líquidos e sólidos e com resíduos oriundos de diversas etapas do processamento industrial. As águas residuárias contêm sangue, gordura, excrementos, substâncias contidas no trato digestivo dos animais, fragmentos de tecidos, entre outros, caracterizando um efluente com elevada concentração de matéria orgânica. Esse efluente, quando disposto no meio ambiente sem tratamento, representa focos de proliferação de insetos e de agentes infecciosos, os nutrientes presentes nos efluentes líquidos de frigoríficos, quando em excesso trazem sérios problemas aos corpos receptores como o fenômeno da eutrofização (ROCHA, 2008).

Grande parte dos estabelecimentos, via de regra, lançam as águas residuais diretamente em cursos d'água que, se forem volumosos e perenes, são capazes de diluir a carga recebida sem maiores prejuízos. Porém, o que frequentemente acontece é que os rios são de pequeno porte e o efluente dos matadouros é tão volumoso que torna as águas receptoras impróprias à vida aquática e a qualquer tipo de abastecimento, humano, agrícola, comercial, industrial ou recreativo. Nesses casos, os efluentes dos matadouros podem ser classificados, como agentes de poluição das águas, em ameaça à saúde pública (FEISTEL, 2011).

A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; etapas do processo industrial; esgotos sanitários, entre outros. Exceto pelo volume incorporado aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial, originando assim os efluentes líquidos (VON SPERLING, 2005).

De acordo com a legislação Federal, resolução CONSEMA nº 128/2006 da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul:

Art 9º - Os efluentes líquidos de que trata esta Resolução devem atender aos padrões de toxicidade estabelecidos em resolução específica sobre a matéria ou conforme exigências do órgão ambiental competente, definidos caso a caso, até que a mesma esteja em vigor.

Estudos tem mostrado que o tratamento de águas residuais provenientes das atividades de abatedouros e frigoríficos vem apresentando dificuldades, pois além destes efluentes estarem incorporados com uma elevada concentração de nitrogênio e fósforo, torna-se também difícil obter resultados satisfatórios com sistemas de tratamento convencionais (RODRIGUES, 2010).

Os processos biológicos são amplamente empregados nos sistemas de tratamento de efluentes devido à sua maior simplicidade e menores custos operacionais. Entretanto, a aplicação de tais processos pode ter limitações quando os efluentes apresentam em sua composição, poluentes recalcitrantes e/ou poluentes que possam inibir a atividade da biomassa. Conseqüentemente, os sistemas de tratamentos não alcançarão os níveis de remoções necessários para atender as exigências dos padrões de lançamento de efluentes. Geralmente, tais tipos de efluentes são submetidos a processo mais onerosos, como os tratamentos por

floculação-precipitação, adsorção em carvão ativado, evaporação, oxidação química, incineração (SILVA, 2006).

Elementos como fósforo e nitrogênio são chamados de agentes eutrofizantes, ou seja, são elementos que em quantidade elevadas provocam a proliferação exagerada de fitoplâncton, fenômeno chamado de eutrofização. Fósforo e nitrogênio são liberados na decomposição biológica da matéria orgânica, formando amônia, fosfatos e nitratos (CLAAS e MAIA, 2003).

Os efluentes frigoríficos contêm suspensões coloidais que possuem grande estabilidade devido a pequena dimensão e a existência de cargas superficiais que promovem a sua repulsão. Deste modo, somente métodos físicos de separação, não são efetivos. Sendo assim, os métodos físico químicos de coagulação e floculação são os mais indicados para promover a desestabilização e agregação das partículas coloidais e finamente divididas, formando flocos maiores e mais densos, passíveis de separação, o que é possível através do emprego de coagulantes, geralmente sais de ferro e alumínio e polímeros sintéticos utilizados como floculantes (SCHOENHALS, 2006).

A utilização de coagulantes para polimento do efluente de lagoas de estabilização apresenta-se como uma solução rápida e de baixo custo de implantação, podendo produzir efluentes de excelente qualidade (ROCHA, 1998).

A prática sobre ensaio de coagulantes tem como característica a determinação da melhor dosagem para a condição ótima de coagulação e floculação de uma água residuária, verificando a concentração de coagulante, o tempo de decantação e o gradiente de velocidade para se flocular a água em estudo (SILVA, 2009).

A presente pesquisa visou a aplicação de processo físico-químico, especificamente, na precipitação de compostos fosfatados. Utilizou-se um efluente bruto gerado no processo industrial de abate de suínos para remoção desses nutrientes onde foram estudados as principais variáveis do processo, sendo elas, a concentração de reagentes e o valor de pH de precipitação.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência de diferentes coagulantes e floculantes em diferentes valores de concentração e de pH na remoção de fósforo em efluentes de uma indústria frigorífica.

1.1.2. Objetivo Específico

- Caracterizar os atributos físico-químicos do efluente bruto;
- Selecionar o coagulante e o valor de concentração e de pH que apresentar maior eficiência de remoção de fósforo;
- Comparar os resultados obtidos em laboratório com a atual eficiência de remoção do fósforo na unidade industrial de tratamento de efluentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Tratamento para Efluentes de matadouro

O conhecimento prévio das características das águas residuais, de acordo com Nunes (2004), é essencial para projetar o sistema de tratamento do efluente industrial.

Despejos industriais, também denominados águas residuais ou efluentes, são correntes líquidas ou suspensões originárias de processos, operações e/ou utilidades, podendo vir acompanhados também de águas pluviais contaminadas e esgotos sanitários. Suas características originais impedem o aproveitamento em termos técnicos e/ou econômicos na própria fonte geradora destinando-se, portanto direta ou indiretamente a um corpo receptor (CAVALCANTI, 2009).

Para os efluentes de indústrias frigoríficas, são aplicados processos biológicos precedidos de operações de pré-tratamento, que são fundamentais na remoção de penas, pelos, vísceras, óleos, graxas e sólidos em suspensão. A inobservância destas etapas implicaria em processos subsequentes sem sucesso. Os métodos físico-químicos podem remover parte da carga orgânica dos efluentes, porém o custo dos reagentes é alto e a eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) dissolvidas é baixa (FEISTEL, 2011).

Segundo Nardi (2005), num frigorífico há separação ou segregação inicial dos efluentes líquidos em duas linhas principais: a linha “verde”, que recebe principalmente os efluentes gerados na recepção dos animais, nas áreas de lavagem dos caminhões, na bucharia e na triparia; e a linha “vermelha”, cujos contribuintes principais são os efluentes gerados no abate, no processamento da carne e das vísceras, incluídas as operações de desossa/cortes e de graxaria, caso ocorram na unidade industrial.

Outras características dos efluentes gerados pelas indústrias frigoríficas são: flutuações de pH em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos; altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal; teores significativos de sais de cura, compostos aromáticos (no caso de processo de defumação de produtos de carne); flutuação de temperatura e concentração de diversos outros sólidos em suspensão, provenientes do processo de abate, lavagens de pisos e equipamentos. Essas características podem variar em função da utilização de boas práticas de fabricação e com o reaproveitamento dos resíduos orgânicos gerados. Apresenta também elevada

concentração de nitrogênio, cerca de 30 g/litro e de DQO, em torno de 400 g/litro, sendo considerada a mais alta entre os efluentes líquidos gerados no processamento de carnes, o aporte de sangue ao efluente, se não faz a recuperação é de aproximadamente de 7 litros/suíno (FEISTEL, 2011).

Devido à complexidade da composição dos efluentes industriais, são necessárias associações de diversos níveis de tratamento para a obtenção de efluentes com as qualidade requeridas pelos padrões de lançamento no corpo receptor, que na maioria dos casos é o corpo hídrico mais próximo. A definição do processo de tratamento deve considerar também custos de investimentos, custos operacionais (energia requerida, produtos químicos, mão-de-obra, manutenção controle analítico e geração de resíduos), área disponível para a implantação do tratamento, clima, legislação, a classe do corpo receptor, proximidade de residências, direção de ventos, estabilidade do terreno, assistência técnica e controle operacional (SCARASSATI, 2003).

2.2. Estação de Tratamento de Efluentes

As estações de tratamento de efluentes líquidos são feitas para adequar a quantidade de efluente aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental competente, que iria diretamente para o meio ambiente. Estações de tratamento ajudam no controle da poluição e de doenças e nos ajudam, também, a obter uma fonte limpa de água para uso doméstico, banho e propósitos recreativos (AZAMBUJA, 1991).

Segundo o Artigo 7º da Legislação Federal, resolução CONAMA nº 430/2011 do Ministério do Meio Ambiente: O órgão ambiental competente deverá, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no art. 16 desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para enquadramento do corpo receptor (CONAMA, 2011).

Após a definição dos objetivos do tratamento do efluente do processo terem sido estabelecidos e a revisão da regulamentação estadual e/ou federal quanto ao lançamento do mesmo, o grau de tratamento pode ser determinado comparando as

características do afluente com as características que o efluente necessita ter (METCALF e EDDY, 1991).

O tratamento dos contaminantes residuais podem ser divididos em tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário, ocorrendo a possibilidade de uma grande variedade de combinações de sistemas de tratamento.

2.2.1. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar é responsável pela remoção de sólidos grosseiros e areia presente na tubulação do efluente, tem como objetivo evitar o acúmulo de sólidos grosseiros e material inerte e abrasivo nas tubulações e demais unidades da ETE, nesta etapa, os sólidos são removidos por processo mecânicos ou físicos. Através do gradeamento, os sólidos grosseiros são removidos e suas características e dimensões variam de acordo com o espaço livre entre as grades. Os sólidos predominantemente inorgânicos, como areia e a terra são removidos em unidades desarenadoras ou caixas de areia (MACHADO, 2014).

2.2.2. Tratamento primário

As tecnologias de tratamento físico-químico, muitas vezes chamado de tratamento primário, tem por objetivo principal a eliminação de sólidos suspensos. Os processos físico-químicos são recomendados na remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão através de coagulação-floculação, matérias orgânicas não biodegradáveis, sólidos dissolvidos por precipitação química e compostos através de oxidação química (NUNES, 2004).

A adição de coagulantes e floculantes nos processos convencionais de tratamentos físico-químicos objetivam aglutinar partículas em suspensão (1 a 100 μm) contidas em águas residuárias, de modo a promover a redução de sólidos em suspensão e coloidais, carga orgânica e de alguns tipos de poluentes prioritários da fase líquida, transferindo-as para a fase sólida (CAVALCANTI, 2009).

A homogeneização ou equalização é fundamental para o tratamento físico-químico dos efluentes de uma indústria que, para o tanque de equalização devem convergir todo efluente gerado nos processos produtivos (CLAAS e MAIA, 2003).

A neutralização consiste na eliminação das cargas eletrostáticas superficiais, responsáveis pela repulsão entre as partículas carregadas eletricamente devido à adsorção de íons, principalmente hidroxilas, presentes na água (CAVALCANTI, 2009).

2.2.2.1. Coagulação

Segundo Cavalcanti (2009), a coagulação é o processo de aglomeração de partículas em suspensão finamente divididas ou em estado coloidal, pela adição de um coagulante adequado. O mecanismo da coagulação consiste na formação de partículas floculantes (flocos) em um líquido pela ação de um coagulante químico que, em solução, fornece carga iônica oposta à partículas coloidais. Conforme mostrado na Figura 1.

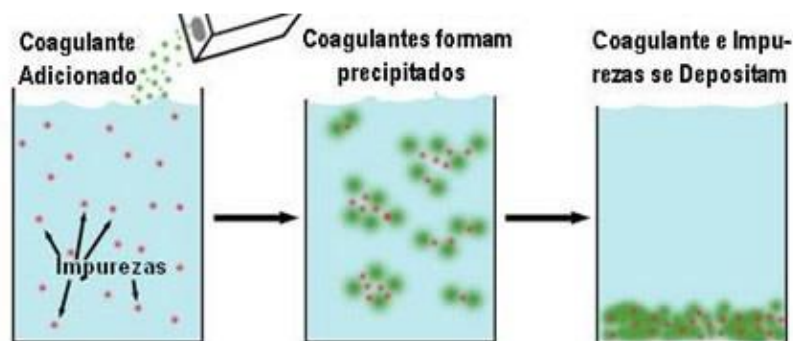


Figura 1. Ilustração do funcionamento de coagulação.

Fonte: www.naturaltec.com.br

Nos efluentes agroindustriais, a maioria dos sólidos em suspensão, de origem proteica, tem, portanto, grande afinidade com a água. Para efetuar-se a separação dos sólidos em suspensão, é necessário promover a coagulação de maneira que se tornem partículas de tamanho maior e que sedimentem com maior velocidade. Para que a coagulação ocorra, é necessária a desestabilização dos sólidos em suspensão que, por meio de mecanismos de agregação ou adsorção, anulam as forças repulsivas ou atuam sobre a molécula hidrofílica das partículas (CLAAS e MAIA, 2003).

Segundo Richter (2009), a coagulação envolve inicialmente a mistura rápida do coagulante com a água e, em seguida, a agitação lenta do material coagulado para a formação dos flocos. A mistura rápida e a floculação são, portanto, basicamente processos de transporte de fluídos, associados a precipitação e união de partículas primárias. A diferença entre as duas reside no tempo e intensidade de mistura, esta definida pelo gradiente de velocidade. O conhecimento da taxa de união entre as partículas previamente desestabilizadas, isto é, da cinética da floculação, é portanto uma condição fundamental no dimensionamento dos floculadores.

Os ensaios de coagulação destinam-se à obtenção de informações fundamentais para o dimensionamento de estações de tratamento de efluentes industriais. Através deles obtém-se dados como tipos e dosagens de reagentes, tempos de detenção, gradientes de velocidades, volumes e características de lodos, bem como performance de processo quanto à remoção de poluentes específicos (CAVALCANTI, 2009).

Entre a diversidade de agentes de coagulação, em geral são usados sais que geram hidróxidos em reação com a água e compostos orgânicos naturais ou artificiais de longa cadeia molecular, os polieletrólitos (RICHTER, 2009). Para escolha do coagulante, deve-se tomar como base um estudo em termos de rendimento, custos, consumo de produtos, auxiliares para ajuste de pH, facilidade de manipulação entre outros (AZAMBUJA, 1991).

2.2.2.1.1. Coagulantes utilizados

Os coagulantes, normalmente utilizados nos processos de coagulação, são compostos por cátions polivalentes (Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , entre outros) que neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas (CAVALCANTI, 2009).

- **Policloreto de alumínio ($Al_nOH_m Cl_{3n-m}$)**

O policloreto de alumínio (PAC) é um complexo polinuclear de íons de alumínio polimerizados, um tipo de polímero inorgânico de alto peso molecular. A aplicação do PAC promove pouca variação de pH na água sendo tratada, como consequência há significativa diminuição de adição de agentes neutralizantes como cal, barrilha ou soda cáustica. Em comparação com outros, como exemplo o sulfato de alumínio, este

se torna interessante visto que é dosado de duas a 8 vezes menos, gerando menos lodo, e promovendo melhor clarificação (SILVA, 2012).

De acordo com Constantino (2009), o forte poder de coagulação com a formação rápida dos flocos: a ação coagulante do PAC é muito boa, fazendo com que os flocos se formem mais rapidamente e em tamanhos maiores e uniformes. Em consequência do maior tamanho de floco formado tem-se uma maior velocidade de decantação com o uso do PAC.

- **Taninos vegetais**

O sistema de tratamento físico-químico de coagulação, floculação e sedimentação com coagulantes naturais vem sendo estudado no tratamento de diferentes tipos de efluentes. Vários estudos utilizando tanino vegetal têm mostrado que este coagulante possui propriedades efetivas e não tóxicas aos seres humanos e animais (VIVE, 2013).

O uso de sais de alumínio, que é comumente empregado, pode ser prejudicial aos seres humanos e aos organismos vivos, além do que, o excesso deste elemento nos recursos hídricos pode prejudicar o desenvolvimento de peixes e algas. Tal fato deve-se à toxicidade deste elemento para alguns organismos, podendo persistir na água tratada ou no lodo gerado pela estação de tratamento (PELEGRINO, 2011).

Segundo Lopes (2014), os taninos são encontrados em árvores de grande e pequeno porte. A madeira é constituída de dois grandes grupos: o grupo que forma a parte da estrutura celular vegetal e o grupo de substâncias extraíveis que são os polifenóis que são o subgrupo mais importante e numeroso. Os polifenóis se dividem em taninos, ligninas e polifenóis simples.

Como é efetivo a uma ampla faixa de pH, normalmente elimina a necessidade do uso de alcalinizantes, como soda ou cal, reduzindo o volume de lodo a ser descartado. Outra característica dos taninos é a sua capacidade de adsorver metais dissolvidos em água que, ao se aglutinarem, precipitam, podendo ser removidos (PELEGRINO, 2011).

- **Sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$)**

O sulfato de alumínio tem longa aplicação em tratamento de efluentes como coagulantes, proporcionando um efluente tratado praticamente livre de sólidos em

suspensão ou em estado coloidal. O floco formado, gelatinoso e insolúvel, arrasta lentamente material em suspensão e coloidal em seu processo de sedimentação ou flotação (CAVALCANTI, 2009).

Segundo Richter (2009) o sulfato de alumínio é de fácil manuseio e transporte, além de ter baixo custo e produção, podendo ser armazenado em tanques de plástico, madeira, borracha ou aço inoxidável. Sua característica física de fornecimento comercial pode ser em formato sólido (granular) ou na forma líquida.

É importante ressaltar que a quantidade de Sulfato de Alumínio necessário para provocar uma coagulação é facilmente definida através de teste de jarros. Atualmente utiliza-se mais quantidades práticas, pois parte dos íons de alumínio parecem se combinar diretamente com as impurezas (LIBÂNO, 2010).

2.2.2.2. Floculação

Segundo Claas e Maia (2003), a floculação é a operação complementar à coagulação, que visa dar densidade as partículas coloidais neutralizadas, tornando-as maiores e de maior peso. É realizada através da adição de moléculas de cadeia longa (polímeros), cujas subunidades são ionizáveis (polieletrólitos), produzindo a união de partículas por adsorção e formação de pontes.

Juntamente com a coagulação, a floculação desempenha um papel dominante na cadeia de processos de tratamento de água e efluentes, principalmente na preparação da decantação ou da flotação e, assim, na filtração que se segue. O sucesso dos outros processos depende, portanto, de uma coagulação bem-sucedida (RICHTER, 2009).

Devido às complexas reações que ocorrem em um tratamento físico-químico é essencial estabelecer um pH ótimo de floculação, bem como determinar a dosagem de coagulante necessária para separação de poluentes originariamente em suspensão ou emulsionados (CAVALCANTI, 2009).

De acordo com Lopes (2014), é compreendido que quanto maior for o gradiente de velocidade, maior será a probabilidade de ocorrer contato entre as partículas, possibilitando à agregação dos flocos e visando o aumento do tamanho dos mesmos. Porém, não se deve exceder as velocidades, visto que provocarão protrusão nos flocos já formados. No processo de floculação ocorrem dois fenômenos que se

contrapõem: agregação das partículas e a ruptura dos flocos, desta forma tornam-se importante os ensaios laboratoriais, nos quais, é possível estabelecer um equilíbrio entre esses fenômenos. Na prática, tem-se observado que o valor do gradiente de velocidade média eficiente diminui à medida que aumenta o tempo de floculação.

2.2.2.2.1. Floculantes utilizados

Os floculantes (polieletrólitos) podem classificar-se quanto a sua natureza (mineral ou orgânica), quanto a sua origem (sintética ou natural) e quanto a sua carga elétrica (aniônico, catiônico ou não iônico). Alguns polieletrólitos orgânicos podem ter origem natural (amidos, derivados de celulose, etc.) ou ter origem sintética (CLASS e MAIA, 2003).

- **Polímero catiônico**

Os polímeros sintéticos catiônicos podem funcionar como coagulantes por neutralização de cargas ou adsorção-formação de pontes, ou uma combinação dos dois mecanismos. Polieletrólitos que têm grupos, como por exemplo carboxílico, terão a densidade de carga dependente das variações de pH da solução, e conseqüentemente, a habilidade destes polímeros em promover a floculação será prejudicada, já os polieletrólitos com grupos ácidos fortes (sulfônico) ou com grupos com carga (amônia quartenária), são menos sensíveis às variações de pH (DI BERNARDO, 2000).

- **Polímero aniônico**

Os polímeros aniônicos de poliacrilamida em geral são efetivos dentro de uma ampla faixa de pH, cujas características aniônicas permitem a neutralização de cargas positivas presentes na superfície das partículas suspensas em meio aquoso. Além disso, por efeitos de adsorção e formação de pontes intermoleculares de partículas em suspensão, é possível formar flocos maiores que serão mais facilmente separados do meio. Esses polímeros são polieletrólitos com massas molares típicas entre 12-15 mg.mol⁻¹, comercialmente disponível na forma sólida, necessitando de intensa agitação durante a dissolução em concentrações recomendadas entre 0,25 e 1,0% para dissolução satisfatória (DOS SANTOS, 2011).

2.2.2.3. Sedimentação/Decantação

Sedimentação é a separação de partículas sólidas em suspensão da água, por sedimentação gravitacional, que são mais pesados do que a água. É uma das operações unitárias mais amplamente utilizada no tratamento de águas residuais. A sedimentação e decantação são termos utilizados alternadamente (METCALF e EDDY, 1991).

A remoção de partículas discretas é realizada pela sedimentação simples nos pré-sedimentadores e sua aplicação geralmente se faz para remover partículas de diâmetro igual ou superior a 0,1 mm (100 µm), e as unidades onde se realiza esse processo são usualmente chamadas de tanques de decantação ou, simplesmente, decantadores (RICHTER, 2009).

A decantação baseia-se na velocidade de precipitação das partículas sólidas que caracterizam um determinado efluente líquido. Essas partículas sólidas dividem-se basicamente em dois tipos: os materiais decantáveis, que sedimentam livremente com velocidade de queda constante e diretamente proporcional ao seu peso específico, e as partículas floculadas, produto da coagulação do material coloidal e sólidos suspensos formados naturalmente ou mediante a adição de produtos químicos (CLAAS e MAIA, 2003).

Segundo Metcalf (1991), a sedimentação na maioria dos casos, tem como objetivo primário produzir um efluente clarificado, mas esta etapa também é necessária para a produção de lodo com concentração de sólidos que podem ser facilmente manuseados e tratados.

A eficiência da unidade de decantação é reduzida a medida que ocorre um funcionamento inadequado das unidades de coagulação e floculação, o que pode ocorrer devido a problemas operacionais (LOPES, 2014).

2.2.3. Tratamento secundário

O tratamento secundário, também chamado de biológico, consiste na degradação biológica de águas residuárias de constituições predominantemente orgânica e biodegradável se dá pela ação de microrganismos, os quais metabolizam

a matéria orgânica carbonácea e nitrogenada (coloidal, em suspensão e dissolvida), estabilizando-a sob a forma de subprodutos (CAVALCANTI, 2009).

Esta etapa envolve fenômenos biológicos, e estes dependem de alguns outros parâmetros físico-químicos do meio, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e luminosidade, que vão influenciar diretamente o desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente a atividade microbiana (CLAAS e MAIA, 2003).

Segundo Cavalcanti (2009), os principais objetivos do tratamento biológico são: remover o conteúdo orgânico dos despejos, especialmente a matéria orgânica carbonácea, usualmente medida em termo de DBO, DQO e COT; remover nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo; remover parcial ou totalmente determinados compostos orgânicos de natureza tóxica ou persistentes.

2.2.4. Tratamento terciário

O tratamento terciário, também conhecido como tratamento pós biológico de polímetro, geralmente são empregados quando se deseja remover determinados grupos de substâncias que não são removidas nos sistemas de tratamento convencional (primário e secundário), como por exemplo, alguns íons (cloretos, sódio e cálcio, entre outros), ou substâncias como corantes dissolvidos e complexos orgânicos. Outra aplicação de sistemas terciários é a eliminação de microrganismos indesejáveis, como organismos patogênicos, coliformes e outros (CLASS e MAIA, 2003).

2.3. Parâmetros importantes no tratamento de efluentes

Von Sperling (2005) e Claas; Maia (2003), descreveram que os parâmetros de maior importância na qualificação de água residuais e principais indicadores de poluição são:

2.3.1. Vazão

Volume de efluente líquido industrial que escoar através de uma seção, por unidade de tempo. Através da medida da vazão é possível conhecer o volume de

efluente gerado por uma empresa em um determinado tempo. O volume de efluente depende do tipo de atividade industrial, do porte da empresa e do nível tecnológico empregado.

2.3.2. pH

Indica a intensidade de acidez ou alcalinidade, sendo que os microrganismos presentes no tratamento biológico normalmente são inibidos em pH menor que 6,0 e superior a 9,0. O controle do pH é fundamental para o processo de digestão. Muitos processos químicos utilizados para coagular efluentes, adensar lodos ou oxidar substâncias requerem controle do pH.

2.3.3. Temperatura

Algumas indústrias geram efluentes de elevada temperatura. Caso este efluente industrial seja lançado ainda com elevada temperatura, muitos organismos não sobreviverão.

2.3.4. DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio, está associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. É uma medida do oxigênio consumido após cinco dias pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

2.3.5. DQO

A Demanda Química de Oxigênio, é outro importante parâmetro de controle dos efluentes líquidos. É definida como a quantidade de oxigênio quimicamente utilizada para oxidação da matéria orgânica e inorgânica de uma amostra.

2.3.6. Sólidos

São responsáveis por todos os parâmetros de interesse em efluentes, exceto oxigênio, pelo aparecimento da cor e turbidez nas águas. Os sólidos totais em águas residuais caracterizam o teor da matéria orgânica existente no resíduo, enquanto que os sólidos solúveis representam a matéria inorgânica, ou seja, o teor dos sólidos minerais.

2.3.7. Óleos e graxas

São substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. Quando em excesso, há dificuldade de degradação em processos biológicos, formando filme e impedindo a transferência de oxigênio do ar para a água, e conseqüentemente, aumentando a carga orgânica em corpos d'água.

2.3.8. Nitrogênio e Fósforo

São chamados de agentes eutrofizantes, ou seja, são elementos que em quantidades elevadas provocam a proliferação exagerada de fitoplâncton (conjunto de vegetais microscópicos que vivem nos lagos, charcos, rios e mares). Além de alterar o sabor destas águas, a morte destes organismos promove o decaimento do nível de oxigênio dissolvido, implicando as conseqüências já mencionadas.

2.4. Remoção de fósforo

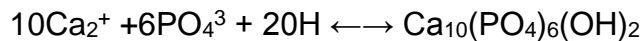
O fósforo é assimilado principalmente na forma de ortofosfato e é liberado para o meio também nesta forma através da hidrólise de compostos orgânicos excretados pelos microrganismos, autólise e mineralização da matéria orgânica (NAVAL, 2005).

O fósforo pode ser removido quimicamente dos despejos através do emprego de cal ou de sais metálicos (ferro ou alumínio), juntamente com polímeros, de forma a produzir sais insolúveis ou de baixa solubilidade quando combinado com fosfato. A remoção de fósforo, via quimicamente, pode ser feita tomando por base o despejo

bruto ou como tratamento terciário, ou seja, no efluente de um tratamento biológico (CAVALVANTI, 2009)

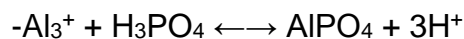
Segundo Cavalcanti (2009), dois diferentes tipos de precipitação podem ocorrer:

a) Precipitação de fosfato com cal.

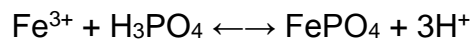


b) Precipitação do fosfato em metais.

- Precipitação de fosfato com alumínio.



- Precipitação do fosfato com ferro



De acordo com a resolução 128/2006 do CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul), Art. 20º, § 1º, parágrafo III - Fica estabelecida a variação dos padrões de emissão para os parâmetros Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo e Coliformes Termotolerantes ou Escherichia coli, devendo atender aos valores de concentração estabelecidos ou operarem com a eficiência mínima fixada em função das faixas de vazão referidas na Tabela 1:

Tabela 1. Padrão de emissão para parâmetros NTK, Fósforo e Coliformes Termotolerantes

Faixa de Vazão (m³/d)	Nitrogênio Total Kjeldahl			Fósforo		Coliformes Termotolerantes	
	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Concentração (mg/L)	Eficiência (%)	Máximo permissível (NMP/100mL)	Eficiência (%)
Q < 100	20	75	20	4	75	10 ⁵	95
100 ≤ Q < 1000	20	75	20	3	75	10 ⁴	95
1000 ≤ Q < 10000	15	75	20	2	75	10 ⁴	95
10000 ≤ Q	10	75	20	1	75	10 ³	95

2.5. Técnica para determinação de dosagens – Teste de Jarros

É um método ainda bastante empregado nas Estações de Tratamento, para a determinação das dosagens dos coagulantes a serem empregados; pH; agitação; e tempos, porém, este tipo de ensaio vem sendo empregado para a determinação de parâmetro básico na elaboração do projeto de uma Estação de Tratamento. Por este ensaio determina-se a condição ótima para floculação de uma água caracterizada pelo tempo e agitação necessária, para tanto uma vez determinada a dosagem ótima dos coagulantes, deve-se verificar qual tempo, e qual o gradiente de velocidade para se flocular a água em estudo. Além disso, deve-se verificar se a floculação obtida fornece uma água que após a sedimentação apresentará uma grande redução de turbidez (GARRIDO, 2011).

O equipamento de “Jar-Test” é constituído normalmente de 3 a 6 cubas, jarros de plástico, de igual volume, de seção quadrada, dispostas em paralelo, dotadas em cada uma delas de agitadores de velocidades variáveis controladas por tração magnética (50 a 100 rpm), de forma simular, através de movimentação uniforme (CAVALVANTI, 2009). O período de observação de sedimentação dos flocos deve ser, no máximo, 15 minutos (CLASS e MAIA, 2003).

3. METODOLOGIA

O estudo foi dividido em duas etapas utilizando efluente bruto de um frigorífico de suínos para cada ensaio de tratabilidade, onde, a primeira etapa foi realizada com o objetivo de definir a melhor combinação entre os coagulantes e os floculantes estudados visando eliminar as combinações que não apresentaram efeito com o efluente e definir as dosagens a serem utilizadas na segunda etapa. Nesta etapa foram reproduzidos os ensaios que apresentaram os melhores resultados de clarificação e sedimentação a fim de avaliar os parâmetros de tratabilidade e compará-los com os valores estabelecidos pela legislação vigente.

3.1. Caracterização da ETE

O efluente utilizado nos ensaios de estabilidade foi coletado na estação de tratamento de efluentes (ETE) de um abatedouro de suínos localizado no município de Pelotas/RS. O sistema de tratamento de efluente existente é constituído por tanques de bombeamento, peneira, tanque de equalização e neutralização, flotador por ar dissolvido, lagoa aerada, lagoa de decantação, lagoa facultativa e conjunto de lagoas com plantas emergentes (PAE), com tempo de detenção hidráulica de 60 dias. A água consumida no processo produtivo é oriunda de poço artesiano, também licenciado pelo órgão ambiental competente, e sofre tratamento prévio por sistema de filtração e de troca iônica.

O fluxograma da estação de tratamento de efluente na indústria, está esquematizado conforme as seguintes etapas ilustradas na Figura 2.

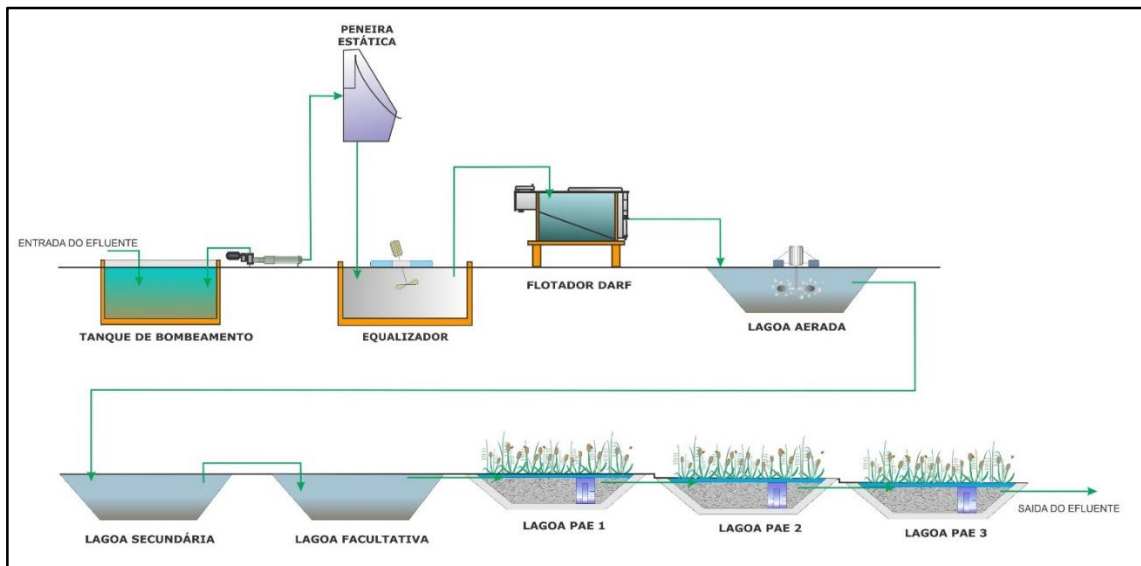


Figura 2: Sistema de tratamento de efluentes do frigorífico

Os procedimentos de amostragem e caracterização das amostras de efluentes seguiram as recomendações de APHA (2012). Para caracterização do efluente bruto, a amostra foi coletada na entrada do Tanque de Bombeamento e para realização dos experimentos, o efluente foi coletado na entrada do tanque de equalização. Após coletado, o efluente foi armazenado em recipientes de polietileno a temperatura ambiente.

As amostras do efluente bruto e do efluente coagulado/floculado foram enviadas para caracterização em laboratório, sendo avaliados os parâmetros listados na Tabela 2. Para os ensaios de coagulação e floculação, todos os parâmetros foram avaliados em triplicata.

Tabela 2. Metodologia, conforme APHA (2012)

Parâmetro	Método	Referência
DQO	Incubação 5d, 20° C e Titulometria	5220D
Fósforo Total	Digestão ácida e Esp. Abs. Atômica	4500 P.E.
pH	Método Potenciométrico	4500 H+A

3.2. Seleção da dosagem ideal de cada coagulante

Foram utilizados três coagulantes comerciais: policloreto de alumínio [$Al_nOH_mCl_{3n-m}$] - PAC, tanino vegetal e sulfato de alumínio. Os floculantes escolhidos para o experimento foram o polímero aniônico e o polímero catiônico.

3.2.1. Primeira etapa – Determinação de produtos e dosagens

Na primeira etapa, os ensaios de coagulação/floculação, foram realizados Beckers, totalizando 36 unidades experimentais, utilizando os três coagulantes e os dois floculantes escolhidos em duas faixas de pH, natural (6,5) e ajustado para 8,5 (Tabela 3). Em cada um dos beakers contendo 1 litro de efluente foi adicionado quantidades pré determinadas (25mL, 50mL, 75ml, 100mL e 150mL) de cada coagulante (PAC, tanino e sulfato de alumínio). Foi promovida a agitação suficiente para propiciar a mistura rápida, adicionou-se, em seguida 2mL de cada auxiliar de floculação (catiônico e aniônico) com agitação menos intensa no sentido de consolidar a floculação. Nos ensaios em que foram empregados pH de 8,5 o ajuste foi realizado antes da adição do coagulante empregando hidróxido de sódio (50%).

Tabela 3. Ensaios de coagulação e floculação

Ensaio	Parâmetros		
	pH	Floculante	Coagulante
1	6,5	Catiônico	PAC
2	6,5	Catiônico	Tanino
3	6,5	Catiônico	Sulfato de alumínio
4	6,5	Aniônico	PAC
5	6,5	Aniônico	Tanino
6	6,5	Aniônico	Sulfato de alumínio
7	8,5	Catiônico	PAC
8	8,5	Catiônico	Tanino
9	8,5	Catiônico	Sulfato de alumínio
10	8,5	Aniônico	PAC
11	8,5	Aniônico	Tanino
12	8,5	Aniônico	Sulfato de alumínio

Na fase de sedimentação dos flocos, o tempo de espera foi de 15 minutos, de modo a permitir a decantação dos flocos e a clarificação. A análise dos resultados consistiu em uma avaliação visual, onde foram observados o tamanho e a quantidade de floco formado e o grau de clarificação do efluente tratado.

3.2.2. Segunda etapa – Reprodução dos melhores ensaios

Na segunda etapa o efluente bruto foi coletado na entrada do tanque de equalização do frigorífico durante três dias em uma semana que ocorreram abate de suínos. Para cada coagulante foi selecionado as melhores combinações de floculante e pH obtidos na etapa anterior. Todos experimentos clarificados passaram por uma etapa de filtração, afim de que ocorresse a remoção de sólidos em suspensão.

As amostras de cada ensaio selecionado foram submetidas as análises de DQO, fósforo e pH. Todas as determinações dos parâmetros físicos e químicos foram realizadas em triplicata e seguiram metodologia de acordo com o Standard Methods for Examination of Water and Waste Water (APHA, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação dos ensaios de tratabilidade

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos na primeira etapa do estudo com os testes de determinação de dosagens e os resultados da avaliação da quantidade de floco formado e o grau de clarificação do efluente.

Tabela 4. Resultado dos ensaios de tratabilidade

Ensaio	Volume de Coagulante	Resultados	
		Floco formado	Clarificação
1	50 ml	Médio	Boa
2	25 ml	Pequeno	Média
3	100 ml	Pequeno	Média
4	100 ml	Pequeno	Ruim
5	25 ml	Não formado	Não clarificou
6	100 ml	Não formado	Não clarificou
7	50 ml	Pequeno	Boa
8	25 ml	Médio	Boa
9	100 ml	Médio	Boa
10	75 ml	Pequeno	Ruim
11	50 ml	Não formado	Não clarificou
12	100 ml	Pequeno	Ruim

Após avaliação visual, determinou-se que para a segunda etapa seriam utilizados os ensaio 1, ensaio 8 e ensaio 9 dos coagulantes PAC, tanino e sulfato de alumínio respectivamente, pois estes obtiveram os melhores resultados, conforme ilustrados nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5. Para o ensaio 8 e ensaio 9 foi necessário promover o ajuste de pH do efluente com hidróxido de sódio (50%), enquanto que para o ensaio 1 não foi necessário este ajuste. Em todos os ensaios o floculante aniônico obteve resultados inferiores na clarificação e na formação de floco se comparado com os ensaios em que foi aplicado o floculante catiônico.

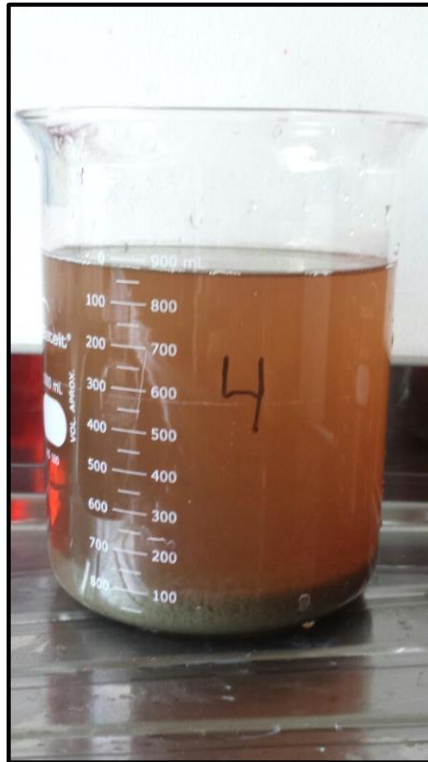


Figura 3. Ensaio de tratabilidade com coagulante PAC (ensaio 1)



Figura 4. Ensaio de tratabilidade com coagulante tanino (ensaio 8)

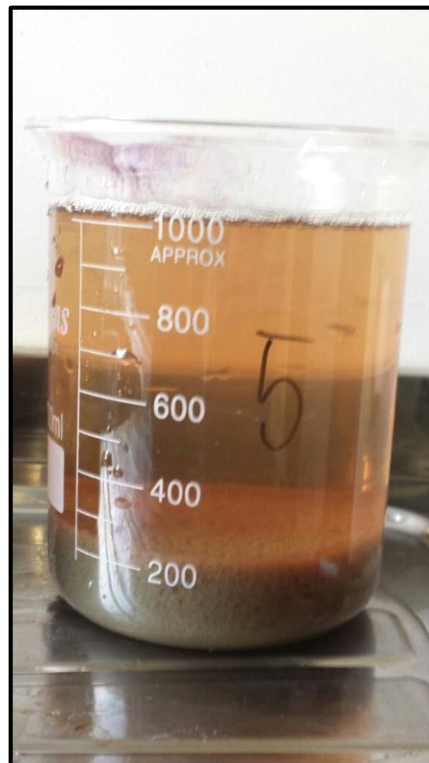


Figura 5. Ensaio de tratabilidade com coagulante sulfato de alumínio (ensaio 9)

4.2. Caracterização físico química do efluente

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos na determinação dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto e tratado do frigorífico de suínos, em comparação à legislação referente ao lançamento em recursos hídricos.

Tabela 5. Resultados da determinação de DQO, fósforo e pH

Parâmetros	Fósforo (mg P.L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	pH
Bruto	7,6 ± 0,09 ^a	1740,0 ± 251,5 ^a	6,69 ± 0,01
PAC	1,90 ± 0,76 ^b	340,0 ± 8,16 ^b	6,69 ± 0,01
Sulfato	0,68 ± 0,08 ^b	286,67 ± 26,66 ^b	8,53 ± 0,03
Tanino	5,98 ± 0,07 ^a	466,67 ± 18,56 ^b	8,48 ± 0,02
Padrão de emissão	Até 3,0	Até 330,0	6,0-9,0

* resultados expressos em média ± erro padrão; ** letras diferentes entre colunas indicam diferença significativa entre níveis de tratamentos ($p < 0,05$); *** padrões de emissão para lançamento em águas superficiais segundo a Resolução CONSEMA n° 128/2006.

Comparando os efluentes bruto e tratados, foi registrada diferença significativa ($p \leq 0,05$) na remoção de fósforo para os tratamentos em que foram utilizados os

coagulantes PAC e sulfato de alumínio. Com a utilização do coagulante tanino, apesar de ter obtido uma boa clarificação, a eficiência na remoção de fósforo não obteve resultados satisfatórios.

Quanto aos valores das quantidades de fósforo encontradas nas amostras, verifica-se que os resultados obtidos nas amostras tratadas com coagulante PAC e sulfato de alumínio encontram-se dentro do limite especificado na Resolução CONSEMA n° 128/2006, que seria de no máximo 3 mg/L P.L⁻¹ de efluente.

Segundo Chao (2006), as principais vantagens em utilizar sais de alumínio para remoção de fósforo referem-se a excelente qualidade do efluente produzido e o baixo custo de implantação das unidades de tratamento. A eficiência de remoção de fósforo por precipitação química gira em torno de 95%, entretanto há desvantagens relacionadas com o custo operacional relativamente elevado, devido aos gastos com produtos químicos e o grande volume de lodo gerado.

Em experimentos utilizando sulfato de alumínio realizados por Braun (2013) aplicado para amostras de efluente de indústria de laticínios, com a concentração de fósforo encontrada de 3,0 mg/L, observou-se uma redução de 98,95% de fósforo, utilizando uma dosagem de 1,5mL de sulfato de alumínio 50%.

Já Schoenhals *et al.* (2006), demonstrou que a remoção de fósforo em efluentes de abatedouro de frangos utilizando como coagulantes Sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio (PAC) apresentou uma eficiência de 95%, 92% e 93% respectivamente, em comparação com o efluente bruto apresentando uma concentração de fósforo de 53,3 mg/L com um valor de pH de 6,7 sendo corrigido para 7,5.

Rodrigues (2015), analisou a remoção de fósforo do tratamento de efluentes provenientes de frigoríficos de bovinos, suínos e ovinos no município de Pelotas/RS, tendo percentuais variando de 49,4% a 77,3%, com todos frigoríficos atendendo os padrões de emissão estabelecidos pela legislação vigente.

Analisando a Tabela 5, na avaliação de remoção de DQO não foi constatada diferença significativa utilizando os coagulantes PAC, sulfato de alumínio e tanino. É importante ressaltar que, segundo Von Sperling (1996), a DQO engloba tanto a parcela devida as partículas dissolvidas quanto a parcela devido a presença de partículas coloidais. Portanto, a adição de agentes coagulantes contribuíram para a elevada remoção de material suspenso e também de material solúvel e coloidal.

Segundo Mittal (2005) as unidades de flotação podem alcançar faixas de redução de DQO de 32% a 90%, sendo que os processos de coagulação e floculação quando aplicados ao tratamento de águas residuárias de abatedouro utilizando cloreto férrico e PAC as máximas eficiências de remoção de DQO atingidas permanecem na faixa de 45 – 75%.

Já os dados obtidos por Barros e Nozaki (2001), em análises realizadas com o efluente bruto proveniente da indústria de celulose, utilizando o sulfato de alumínio como coagulante, foi atingido uma eficiência de 54% na remoção de DQO.

Quanto aos valores de DQO encontradas nas amostras, verifica-se que os resultados obtidos nas amostras tratadas com o coagulante sulfato de alumínio encontram-se dentro do limite especificado na Resolução CONSEMA n° 128/2006, que seria de no máximo 330 mg/L de DQO de efluente, para uma ETE com 300 m³/d. Enquanto que os valores obtidos com o coagulante PAC estão próximos ao valor definido pelo CONSEMA.

O pH sofreu uma pequena variação, porem este parâmetro encontra-se dentro do que preconiza a legislação através da Resolução 357/05 CONAMA, no seu Art. 34, que estabelece para lançamento de efluente líquidos pH entre 5,0 e 9,0 apresentando uma solução básica/alcalina o que favorece o bom funcionamento do sistema de tratamento secundário.

4.3. Eficiência de remoção dos parâmetros de DQO e Fósforo

Na Tabela 6 são apresentados os valores percentuais na remoção de DQO e fósforo com a utilização dos coagulantes escolhidos.

Tabela 6. Percentual de remoção de DQO e fósforo

Parâmetros	PAC	Sulfato de alumínio	Tanino
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	77,56% ± 2,7%	78,89% ± 4,5%	67,78% ± 4,8%
Fósforo (mg P.L ⁻¹)	75,89% ± 9,5%	91,00% ± 0,9%	28% ± 6,6%

* resultados expresso em média ± erro padrão

Para remoção de DQO, os coagulantes PAC, sulfato de alumínio e tanino ofereceram em média uma redução um pouco maior em relação a remoção de fósforo, sendo 77,56%, 78,89% e 67,78% respectivamente.

O sistema de tratamento apresentou em média uma remoção de fósforo com a aplicação dos coagulantes PAC, sulfato de alumínio e tanino de 75,89%, 91,00% e 28,00% respectivamente. A Resolução CONSEMA 128/2006 especifica que um tratamento pode ser considerado eficiente quando houver a remoção de no mínimo 75% de fósforo do efluente bruto.

5. CONCLUSÃO

Os ensaios com os coagulantes sulfato de alumínio e tanino vegetal, mostraram melhor resultado nos parâmetros visuais de clarificação quando passaram pelo processo de ajuste de pH, partindo de um pH em torno de 6,5 para um pH básico com valores em torno de 8,5, enquanto que todos os ensaios com coagulante PAC não mostraram bons resultados na clarificação do efluente. Para aplicação de auxiliar de floculação, os ensaios em que foi empregado o polímero catiônico obtiveram melhores resultados se comparados com os ensaios e que foi empregado o polímero aniônico.

As eficiências de remoção de fósforo foram satisfatórias para os tratamentos em que foram utilizados os coagulantes PAC e sulfato de alumínio, 75,9% e 91% respectivamente, estando de acordo com os padrões de emissões estabelecidos pela legislação vigente no estado do Rio Grande do Sul. O ensaio em que foi utilizado o tanino vegetal, apesar de ter obtido uma clarificação visualmente melhor que o ensaio em que foi utilizado o coagulante PAC, não obteve bons resultados na remoção de fósforo (28%).

O ensaio em que foi empregado o sulfato de alumínio com ajuste de pH para 8,5 obteve o melhor resultado na eficiência de remoção de fósforo entre todas as avaliações realizadas nos ensaios de tratabilidade.

Os índices de remoção de nutrientes atingidos neste trabalho são considerados satisfatórios, atendendo as exigências da Resolução CONSEMA 128/2006 e estando acima dos resultados atuais da unidade industrial de tratamento de efluentes do frigorífico em relação a remoção de fósforo. Entretanto, recomenda-se o monitoramento da eficiência de remoção de fósforo do coagulante ao ser aplicado diretamente na estação de tratamento de efluente.

REFERÊNCIA

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2016**. Disponível em: <<http://www.abpa-br.com.br/>>. Acesso em: mar. 2016

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Embarque de suínos no primeiro bimestre sobe 77,5%**. Revista Suinocultura Industrial, 10 de março de 2016. Acessado em 24 de março de 2016. Online. Disponível em: <<http://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/embarque-de-suinos-no-primeiro-bimestre-sobe-775/20160310-092441-w000/>>.

APHA, AWWA, WPCF. (2012). Standard methods for Examination of Water and Wasterwater 22thedition, New York.

AZAMBUJA, H.; Introdução ao Tratamento de Efluentes Industriais. SENAI. Porto alegre, 1991.

BARROS, M.J; NOZAKI, J; Redução de Poluentes de Efluentes das Indústrias de Papel e Celulose pela Floculação/Coagulação e Degradação Fotoquímica. **Química Nova**, vol. 25, n. 5, 736-740. 2002.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: mar.2016

BRAUN, A.; HILGEMANN, M. Avaliação de Diferentes Coagulantes para a Remoção de Fósforo em Efluente de Indústria de Laticínios. **Revista Tecno-Lógica**. v. 18, n. 1, p. 19-23. Santa Cruz do Sul, 2014.

CAVALCANTI, J.E.W; **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. Brasil, 2009.

CHAO, I.R.S.; **Remoção de Fósforo de Efluentes de Estações de Tratamento Biológico de Esgotos Utilizando Lodo de Estação de Tratamento de Água**. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Tecnologias e Gestão Ambiental - Efluentes Líquidos**. Brasília, 2003. 1ed.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da República Federal do Brasil, Brasília, 2005.

CONSTANTINO, A.F.; YAMAMURA, V.D. **Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC**. Simposio de Pós Graduação em Engenharia Urbana. **Anais 2009**

DI BERNARDO, A.S. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

DOS SANTOS, G.R. **Estudo de clarificação de água de abastecimento público e otimização da estação de tratamento de água**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011

FEISTEL, J.C. **Tratamento e Destinação de resíduos e Efluentes de Matadouros e Abatedouros**. 2011. Seminário (Mestrado em Zootecnia) – Curso de Pós-graduação em Ciência Animal da Escola Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Indicadores 2015: **Estatística da produção pecuária – quarto trimestre 2015**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201504_publ_completa.pdf. Acesso em: maio 2016

GARRIDO, J.M. **Ensaio de Laboratório – Jar Test**. Centro Universitário Filadélfia. Londrina, 2011

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3º Edição. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LOPES, B. **Eficiência de coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA Terras Baixas**. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal de Pelotas, 2014.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Waste water Engineering**. 3ed. Nova York, 1991

MACHADO, G.B. **Processos de tratamento de esgoto sanitário**. Portal Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/processos-de-tratamento-de-esgoto-sanitario/>>. Acesso em: set. 2016

MITTAL, G.S. **Treatment of Waste water from Abattoirs Before Land Application – a Review**. Biorsource Technology XXX. v. 97, 1119-1135. 2005.

NARDI, I.R.; LIMA, A.R; AMORIM, A.K.B; DEL NERY, V. Análise de séries temporais na operação de sistema de tratamento de águas residuárias de abatedouro de frango. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.10, n.4, 339-346. Rio de Janeiro, 2005

NAVAL, L. P.; COUTO, T. C. **Estudo da remoção de fósforo em efluentes provenientes de sistemas anaeróbios para tratamento de águas residuárias utilizando cal**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais.2005.

NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais**. Aracaju: Editorial J Andrade, 2004.

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

RICHTER, C.A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2009.

RIO GRANDE DO SUL, 2006 – Secretaria do Meio Ambiente – **Conselho Estadual do Meio Ambiente – Resolução CONSEMA N° 128, de 24 de novembro de 2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul.

ROCHA, M. L. D. A. F. et al. **POLIMENTO DO EFLUENTE DE LAGOAS FACULTATIVAS ATRAVÉS DE COAGULAÇÃO / FLOCULAÇÃO / DECANTAÇÃO**. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**1999

ROCHA MARIA, R. **Avaliação da Eficiência no Tratamento de Efluentes Líquidos em Frigoríficos**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Faculdade Dinâmica das Cataratas.

RODRIGUES, D.L.C.; HARTWIG, M.P; GERBER, M.D. Avaliação de Nitrogênio e Fósforo de Efluentes Tratados dos Abatedouros na Cidade de Pelotas/RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v.19, n. 1. Santa Maria, 2015.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F.; DELGADO, V.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G.D.; PELEGRINI, R.; **Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos**. III Fórum de Estudos Contábeis. Claretianas, 2003

SILVA, J.W.P.; TORREZÃO, M.E. Estudo sobre a utilização do policloreto de alumínio para a garantia da qualidade das águas de processo no setor sucroalcooleiro. **Cadernos de Pós-Graduação da FAZU**.v. 2. Uberlândia, 2012.

SILVA, C. E. et al. **AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ORGÂNICA DE PERCOLADO SUBMETIDO AOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON**. XXX Congresso interamericano de ingenieria sanitaria y ambiental. **Anais**2006.

SILVA, C.V.A. **Remoção de Fósforo em Estação Compacta de Tratamento de Esgotos Sanitários Através de Precipitação Química.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2009

SCHOENHALS, M; SENA, R.F; JOSÉ, H.J. **Avaliação da Eficiência do Processo de Flotação Aplicado ao Tratamento Primário de Efluentes de Abatedouro Avícola,** v.3, n. 1989, p. 5-24, 2006.

SOUZA, J.A.R; MOREIRA, D.A.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. Variação do nitrogênio e fósforo em solo fertirrigado com efluente do tratamento primário da água residuária da suinocultura. **Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science:** v. 4, n. 3. Taubaté, 2009

VIVE, V. A.; ALMEIDA, P. M. A; Rizk, M. C. Aplicação do Coagulante Tanino no Tratamento da Vinhaça em Ph neutro. **Revista Eletrônica Fórum Ambiental da Alta Paulista.** v. 9, n. 11, pp. 569-574, 2013

VON SPERLING, M. (1996). **Introdução a qualidade de água e ao tratamento de esgotos – princípio do tratamento biológico de águas residuárias.** 2ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

VON SPERLING, M. (2005) **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Belo Horizonte.** ed. 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.