

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CAMPUS DE ERECHIM**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**MARIANE MINOZZO**

**AVALIAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS E RESÍDUOS LABORATORIAIS**  
**GERADOS EM UMA UNIDADE DE RECEBIMENTO DE LEITE: UM ESTUDO DE**  
**CASO**

**ERECHIM – RS**

**2017**

**MARIANE MINOZZO**

**AVALIAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS E RESÍDUOS LABORATORIAIS  
GERADOS EM UMA UNIDADE DE RECEBIMENTO DE LEITE: UM ESTUDO DE  
CASO**

**Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.**

**Orientadoras:** Dr. Rogério Marcos Dallago

Dr<sup>a</sup>. Juliana Steffens

**ERECHIM – RS**

**2017**

**MARIANE MINOZZO**

**AVALIAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS E RESÍDUOS LABORATORIAIS  
GERADOS EM UMA UNIDADE DE RECEBIMENTO DE LEITE: UM ESTUDO DE  
CASO**

**Dissertação apresentada como requisito  
parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia de  
Alimentos, Departamento de Ciências  
Agrárias da Universidade Regional  
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –  
Campus de Erechim**

Erechim, 16 de março de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago  
URI - Erechim

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Steffens  
URI – Erechim

---

Prof. Dr. Alexander Junges  
URI – Erechim

---

Dr<sup>a</sup>. Alexandra Manzoli  
URI – Erechim

---

Prof. Dr. Airton Campanhola Bortoluzzi  
IFRS – Erechim

**NESTA PÁGINA DEVERÁ SER INCLUÍDA A FICHA CATALOGRÁFICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. ESTA FICHA SERÁ ELABORADA DE ACORDO COM OS PADRÕES DEFINIDOS PELO SETOR DE PROCESSOS TÉCNICOS DA BIBLIOTECA DA URI – ERECHIM**

Dedico este trabalho à Gema Links  
*In memoriam*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, pelo seu infinito amor e bondade. Por me presentear com um Eledá tão gracioso. Por me permitir um caminho iluminado.

À minha família, em especial minha querida mãe. É muito bom estar contigo, todos os dias!

Aos meus orientadores Rogério Marcos Dallago e Juliana Steffens, pela oportunidade, confiança, ensinamentos, paciência e amizade.

Às queridas amigas que o mestrado me possibilitou compartilhar o caminho, vocês são, sem dúvida, o lado B. Obrigada pelos preciosos ensinamentos do mestrado: por me mostrar de fato o que é superação, dedicação, esforço, equipe e amizade! Alexandra, Daniela, Glaciela e Janine, vocês são um exemplo! Ale, minha gratidão especial a ti! Tenho muita sorte de ter vocês.

Ao meu querido Mestre, Everton, pela conexão e todas as consequências do caminho! Gratidão eterna a ti!

Ao querido Edu, pelo apoio, carinho e paciência.

Aos amigos Ceni e Vini pelo auxílio experimental.

À COTREL pelo suporte financeiro, em especial ao Luimar Noskoski pela confiança e credibilidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da URI – Erechim, pela estrutura ofertada e por possibilitar a realização deste trabalho.

A todos os professores, funcionários e colegas do programa que colaboraram direta ou indiretamente neste trabalho.

À banca avaliadora, pela disposição de tempo e pelas contribuições.

**Gratidão!**

*É mais fácil avaliar do espírito de qualquer pessoa pelas suas perguntas do que pelas suas respostas.*

*John Locke*

*Na maioria dos casos, forças e fraquezas são dois lados da mesma moeda.*

*Uma força em uma situação é uma fraqueza em outra, mas frequentemente as pessoas não conseguem trocar as marchas.*

*É uma coisa muito sutil falar sobre forças e fraquezas porque elas sempre são a mesma coisa.*

*Steve Jobs*

## RESUMO

Dentro do segmento de leite, as etapas de captação, recebimento e resfriamento são consideradas de grande impacto ambiental, tanto pelos produtos químicos utilizados na etapa de triagem do leite, quanto pela grande quantidade de água demandada em seus processos, e como consequência tem-se a geração de resíduos líquidos, caracterizado pela alta carga orgânica, os quais devem ser eficientemente tratados para evitar sanções, bem como gastos desnecessários com recursos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o gerenciamento de resíduos, bem como o seu desempenho, de uma unidade de recebimento de leite local, a qual caracteriza-se por gerar dois tipos distintos de resíduos, i) um relacionado as análises físico-químicas que o leite é submetido para verificar sua qualidade e ii) outro vinculado a limpeza de caminhões, pisos e equipamentos. Em relação aos resíduos laboratoriais constatou-se a inexistência de segregação dos mesmos, os quais poderiam, mediante classificação de risco, serem divididos em dois grupos, um Classe I, perigoso, e outro, Classe II, não perigoso. Esta segregação possibilita uma redução no volume de resíduo Classe I de aproximadamente 85% dos atuais 140 L/mês, proporcionando uma economia anual de  $\cong$  R\$ 30.000,00. Avaliou-se o atual sistema e sua eficiência através da caracterização do efluente em diferentes etapas do processo, como forma de propor melhorias ao tratamento. Constatou-se que o efluente tratado não atende a legislação vigente em nenhum dos parâmetros avaliados e que nenhuma das etapas apresenta eficiência na remoção de matéria orgânica. Esta falta de eficiência está vinculada a problemas estruturais observados no sistema, ausência de manutenção, deficiência na gestão e, principalmente a ausência do emprego de uma etapa de coagulação no tratamento primário, destinado à agregação/remoção de carga orgânica floculável, previamente ao tratamento secundário que a empresa adota atualmente (lagoa aerada). Ensaio de bancada demonstraram que mediante o emprego associativo do PAC/GelFloc<sup>®</sup> (polímero catiônico) como coagulante é possível obter uma redução de aproximadamente 50% de DQO e DBO, contribuindo desta forma para um melhor desempenho do tratamento biológico.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de resíduos. Tratamento de efluentes. Laticínios. Tratamento físico-químico. Segregação de resíduos laboratoriais.

## ABSTRACT

Within the milk segment, the capture, reception and cooling stages are considered to have a high environmental impact, both by the chemicals used in the milk sorting stage and by the large amount of water demanded in their processes, and as a consequence the generation of liquid waste, characterized by the high organic load, which must be efficiently treated to avoid sanctions, as well as unnecessary expenses with resources. In this context, the objective of this work was to evaluate the waste management, as well as its performance, of a local milk receiving unit, which is characterized by generating two distinct types of waste, i) one related to the physical- chemical tests that the milk is submitted to verify its quality and ii) another linked to the cleaning of trucks, floors and equipment. Regarding laboratory residues, it was found that there were no segregation of the same, which could, by risk classification, be divided into two groups, one Class I, dangerous, and another Class II, non-hazardous. This segregation allows a reduction in the volume of Class I waste from approximately 85% of the current 140 L / month, providing an annual saving of  $\cong$  R\$ 30,000.00. The present system and its efficiency were evaluated through the characterization of the effluent in different stages of the process, as a way of proposing improvements to the treatment. It was found that the treated effluent does not comply with the legislation in force in any of the evaluated parameters and that none of the stages shows efficiency in the removal of organic matter. This lack of efficiency is linked to structural problems observed in the system, lack of maintenance, deficiency in management and, mainly, the absence of a coagulation step in the primary treatment, destined to the aggregation and removal of flocculable organic load, prior to secondary treatment Which the company currently adopts (aerated lagoon). Benchtop tests have shown that by associating PAC / GelFloc® (cation polymer) as a coagulant it is possible to obtain a reduction of approximately 50% of COD and BOD, thus contributing to a better biological treatment performance.

**Keywords:** Waste management. Effluent treatment. Dairy products. Physical-chemical treatment. Segregation of laboratory residues.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Histórico da produção de leite no Brasil .....	20
Figura 2- Fluxograma de processo de uma central de recebimento de leite .....	22
Figura 3- Tipos de tratamento seguindo o grau de poluentes contidos em um efluente.....	24
Figura 4- Fluxograma de classificação de resíduos sólidos de acordo com a NBR 10004:2004. .....	32
Figura 5- Sistema de Jar-test utilizado no experimento .....	37
Figura 6- Fluxograma atual do tratamento de efluentes da empresa .....	44
Figura 7- Visão panorâmica do tratamento da empresa. (A) central de recebimento e triagem do leite recebido e local para lavagem de caminhões, (B) início do tratamento de efluentes. .	44
Figura 8- Visão panorâmica do tratamento de efluentes, provenientes da lavagem de caminhões. (1) Peneira, (2) Caixa separadora, (3) Equalizador, (4) Flotador, (5) Lagoa aeróbia, (6) Efluente tratado .....	45
Figura 9 - (A) Detalhe da peneira e (B) Vertedouro do sistema de tratamento de resíduos ....	45
Figura 10 - Detalhe da caixa de gordura .....	46
Figura 11- Tanque de estabilização do tratamento de efluente da unidade .....	48
Figura 12- Flotador do sistema de tratamento de efluente da unidade .....	49
Figura 13- Sistema de coleta do material flotado e sistema de purga para lodo decantado.....	50
Figura 14- Lagoa aeróbia do sistema de tratamento de efluente da unidade .....	51
Figura 15- Teste com diferentes agentes floculantes para avaliação da eficiência na redução de turbidez: A) Tanino (0,5%), B) Sulfato de Alumínio (1%), C) Cloreto Férrico (1%) e D) Policloreto de alumínio (PAC) + Gel Floc® (0,9/0,4).....	53
Figura 16- Alíquota dos sobrenadantes para os três coagulantes testados, após etapa de decantação e separação do lodo .....	54
Figura 17- Ensaio com diferentes concentrações de Cloreto Férrico para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez .....	56
Figura 18- Ensaio com diferentes concentrações de Tanino para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez. ....	57
Figura 19- Ensaio com diferentes concentrações de PAC-Gel Floc® para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez .....	58
Figura 20- Foto dos ensaios de Jar-test com os três polímeros (0,4%) utilizando o PAC na melhor concentração (0,9%) logo após o término da reação de adição dos polímeros, durante 1 minuto.....	60

Figura 21- Comparativo entre o efluente tratado com PAC-Gel Floc® 5020 após 25 minutos de decantação e o efluente bruto..... 61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Reagentes utilizados no desenvolvimento experimental. ....	30
Tabela 2- Equipamentos utilizados conforme as análises realizadas.....	31
Tabela 3- Concentrações testadas dos coagulantes empregues no presente estudo .....	36
Tabela 4- Resíduos aproximados gerados no laboratório de análises da unidade de recebimento e resfriamento de leite .....	39
Tabela 5- Caracterização do efluente do tratamento atual e padrões estabelecidos pela legislação .....	42
Tabela 6- Resultados de turbidez para as amostras de efluente bruto e tratado por diferentes agentes físico-químicos.....	54
Tabela 7- Resultados dos testes com diferentes concentrações para os três coagulantes: Tanino, Cloreto férrico e PAC - Gel Flocc® .....	55
Tabela 8- Resultados de remoção de DQO, Cor e Turbidez para os três coagulantes utilizados na melhor concentração.....	58
Tabela 9- Análise de DQO e DBO comparando o efluente bruto e o tratado com PAC – Gel Flocc®.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ATM - Atmosfera  
CETRIC - Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Industriais  
CIP - Clean In Place  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente  
CMP - Caseinomacropéptido  
CMT - California Mastit Test  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
FeCl<sub>3</sub> - Cloreto Férrico  
H<sub>2</sub>S - Ácido Sulfídrico  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
N - Nitrogênio  
NaOH - Hidróxido de Sódio  
NTU - Unidade de Turbidez Nefelométrica  
P - Fósforo  
PA - Padrão Analítico  
PAC - Policloreto de Alumínio  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica  
uC - Unidade de Cor  
uH - Unidade Hazen  
URI - Universidade Regional Integrada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Panorama do leite e problemática dos resíduos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 Processo de recebimento do leite</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 Tratamento de resíduos</b> .....	<b>23</b>
3.3.1 Efluentes Líquidos .....	23
3.3.2 Resíduos Sólidos .....	27
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Materiais</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2 Métodos</b> .....	<b>31</b>
4.2.1 Resíduos Laboratoriais .....	31
4.2.2 Classificação dos Resíduos .....	31
<b>4.3 Sistema de tratamento de Efluentes Líquidos em funcionamento na empresa</b> .....	<b>33</b>
4.3.1 Avaliação da eficiência do processo .....	33
4.3.1.1 Caracterização da Cor.....	34
4.3.1.2 Turbidez .....	34
4.3.1.3 Demanda Química de Oxigênio .....	34
<b>4.4 Processo físico-químico de Coagulação</b> .....	<b>34</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1 Efluente vinculado às análises laboratoriais</b> .....	<b>38</b>
<b>5.2 Sistema de Tratamento Convencional</b> .....	<b>41</b>
5.2.1 Caracterização do Efluente .....	41
5.2.2 Identificação de falhas e proposição de melhorias no sistema .....	43
5.2.2.1 Peneira .....	45
5.2.2.2 Caixa Separadora de Gordura .....	46
5.2.2.3 Tanque de Equalização .....	47
5.2.2.4 Flotador.....	49
5.2.2.5 Lagoa aeróbia.....	50
5.2.3 Avaliação do Sistema Físico-Químico .....	52

5.2.3.1 Otimização da Concentração dos Coagulantes .....	55
5.2.3.2 Ensaios de Jar-Test para o sistema consorciado PAC/polímero .....	59
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>65</b>
<b>8 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>9 APÊNDICE .....</b>	<b>72</b>
<b>9.1 APÊNDICE A – METODOLOGIA DE ANÁLISES .....</b>	<b>72</b>
<b>9.2 APÊNDICE B – RESULTADOS REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e industrialização para atender a demanda populacional aumentaram consideravelmente a poluição das águas, e associado à redução dos suprimentos de recursos naturais, fizeram deste uma limitação para o crescimento de muitas indústrias. No âmbito legal, as agências de proteção ambiental, como CONAMA (BRASIL, 2011) e CONSEMA (BRASIL, 2006) impuseram proibições e regulamentações, como forma de proteger o ambiente e manter os recursos hídricos, obrigando as empresas a repensar suas estratégias, as quais resumiam-se a questões econômicas, incorporando as mesmas questões ambientais em seus modelos de gerenciamento (SANCHES, 2000, CORAZZA, 2003, MACHADO, *et al.*, 2015).

Entre as indústrias alimentícias, as indústrias de laticínios estão entre as que mais geram efluentes líquidos, uma vez que consomem uma grande quantidade de água na realização das atividades. A água é utilizada em vários processos na indústria de laticínios, desde aquecimento e resfriamento, até limpeza e higienização de pisos, paredes, maquinários e caminhões. E esses efluentes das indústrias de laticínios se destacam pelos altos níveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e DQO, níveis elevados de sólidos suspensos, incluindo gorduras, óleos, minerais e fosfatos, e, portanto, requerem atenção especial no tratamento dos efluentes (SARKAR *et al.*, 2006), pois se lançados sem tratamento podem causar problemas ambientais.

Assim, as indústrias necessitam investir em planos para tratamento de efluentes, buscando eficiência, no entanto, no que se refere aos custos, os mesmos são muitas vezes superestimados pelos empreendedores, contribuindo para isso a falta de planejamento, o imediatismo e a desinformação dos mesmos sobre os sistemas de tratamento disponíveis e mais adequados para seu efluente, fazendo com que adotem tecnologias caras e muitas vezes pouco eficientes, a contratação de serviços terceirizados ou de profissionais sem formação e, principalmente, a via mais fácil, como o descarte em aterros licenciados, o qual normalmente é a forma mais onerosa economicamente de tratar um efluente.

O leite para ser recebido depende de prévia aprovação das análises realizadas no laboratório, após recebimento o leite é resfriado e posteriormente destinado à indústria. O processo gera efluentes líquidos derivados de atividades como lavagem de caminhões, equipamentos, pisos e paredes e, resíduos das análises físico-químicas.

Com relação aos resíduos que são gerados no laboratório de análises físico-químicas, nos ensaios para avaliar a qualidade do leite, os quais devem ser tratados em função de suas características, mais especificamente suas composições químicas, a qual é empregada para sua identificação como resíduo Classe I ou Classe II. Cabe destacar que estes resíduos normalmente são encaminhados para tratamento externo a um custo considerável, ou armazenados nas unidades, gerando um passivo ambiental.

No que se refere ao tratamento de efluentes, muitas vezes é necessária a utilização de métodos físico-químicos e biológicos, uma vez que apresentam excesso de gordura em sua composição, dificultando o tratamento final deste efluente e entre os tratamentos físico-químicos mais utilizados podemos citar os de coagulação-floculação, como os mais bem sucedidos.

Considerando a grande geração de efluentes nestas indústrias, uma das etapas fundamentais para a elaboração do estudo, além da avaliação dos resíduos das análises físico-químicas, será a identificação de falhas no processo que poderiam estar contribuindo para a ineficiência do sistema já instalado na empresa. Assim, será realizada uma verificação em todas as etapas que compõe o tratamento atualmente, considerando principalmente desgastes estruturais e tipo de estruturas existentes, bem como as etapas a que o efluente é submetido durante o tratamento.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como foco geral avaliar a gestão dos resíduos gerados em uma unidade de resfriamento de leite e oferecer proposições de melhorias para o tratamento de efluentes e formas de segregação e destinação dos resíduos gerados pelos processos inerentes a essa atividade, de acordo com as legislações pertinentes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a gestão dos resíduos e a eficiência do processo no tratamento de efluentes gerados em uma central de recebimento de leite, considerando os parâmetros estabelecidos pelas legislações vigentes bem como propor melhorias.

### **2.2 Objetivos específicos**

Para contemplar o objetivo geral, este estudo foi dividido em duas etapas, considerando a origem dos resíduos:

i) Resíduos gerados no laboratório:

- Realizar um inventário dos resíduos gerados na empresa, principalmente em relação aos do laboratório;
- Avaliar qual o melhor tratamento para estes resíduos.

ii) Resíduos gerados na limpeza de caminhões, pisos e equipamentos:

- Caracterizar o efluente antes e após o tratamento,
- Avaliar a eficiência das etapas do processo de tratamento adotado pela empresa;
- Analisar o sistema como um todo propondo, caso necessário, melhorias no sistema de tratamento atualmente adotado pela empresa.

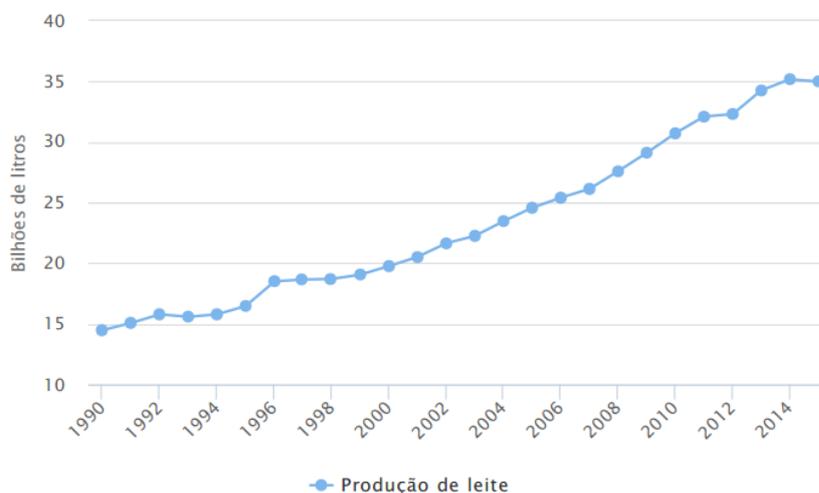
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Panorama do leite e problemática dos resíduos

A indústria do agronegócio possui um importante papel no mundo, servindo de base para diversos setores industriais através da cadeia produtiva da agricultura e da pecuária. A agricultura tem como expoente produtos oriundos do solo, que são a base de indústrias que utilizam transformações de matéria prima a fim de oferecer produtos e serviços ao mercado consumidor. A pecuária se estabelece no mercado como produtor de animais principalmente para indústria alimentícia, através de frigoríficos e laticínios (SOUZA *et al.*, 2012).

Dentro desse contexto, cabe ressaltar que a produção de carnes e leite tem aumentado e segundo dados do Ministério da Agricultura, a produção de carne no Brasil deverá aumentar em torno de 12 milhões de toneladas até 2018, enquanto o IBGE (2015) mostrou em seu último relatório sobre a produção de leite, um acréscimo na produção ano a ano, comparado com valores desde 1990 (Figura 1).

Figura 1- Histórico da produção de leite no Brasil



Fonte: IBGE, 2015

A indústria de laticínios constitui 7% do valor global da produção agrícola e o agronegócio do leite é de fundamental importância para o setor agropecuário brasileiro, tendo em vista sua participação na formação da renda e emprego de grande número de produtores, propiciando a fixação do homem no campo (CAMPOS e PIACENTI, 2007; FAO, 2015).

As indústrias que utilizam o agronegócio como matéria prima se destacam por utilizar grandes volumes de água no seu processo produtivo, gerando resíduos líquidos com alta carga orgânica e dentro do setor de alimentos, os segmentos dos laticínios contribuem de forma expressiva para poluição hídrica, ao lançarem seus efluentes não tratados ou tratados de forma inadequada, uma vez que esses efluentes se caracterizam pela grande quantidade de matéria orgânica, como óleos e gorduras, proteínas e grande quantidade de nutrientes, contribuindo para a alta demanda química e bioquímica de oxigênio (VILLA *et al.*, 2007).

Dentro de uma indústria de laticínios, a utilização de água acontece em todas as etapas do processo, podendo ser utilizada para lavagens de máquinas, caminhões, tubulações e pisos, ou utilizada para os sistemas de resfriamento, e, juntamente com resíduos lácteos contribuem para geração de grande quantidade de efluentes altamente poluidores, pela alta carga orgânica presente, causando assim, alteração de qualidade nos corpos receptores (COUTO, MELO e MASSARINI, 2004; FYFE, HAGARE, SIVAKUMAR, 2016).

Com o crescimento previsto para as indústrias de laticínios e o conseqüente consumo de água com geração de grande quantidade de efluentes, é de fundamental importância reduzir os efeitos dos poluentes do setor industrial, e para isso, as técnicas de tratamento vêm sendo melhoradas, ao mesmo tempo em que as medidas de prevenção estão sendo implementadas para minimizar os resíduos de produção (METCALF e EDDY, 2011).

### **3.2 Processo de recebimento do leite**

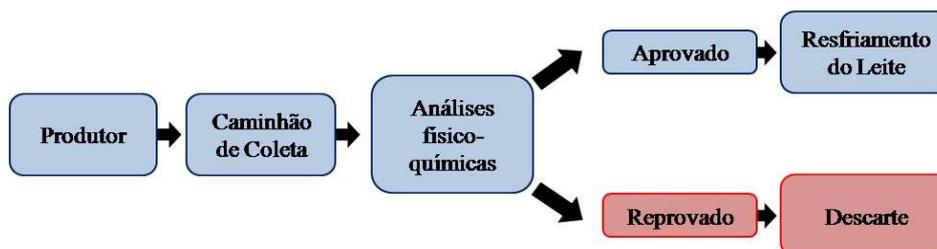
A cadeia produtiva do leite no Brasil sofreu mudanças técnicas, operacionais e institucionais a partir dos anos 90, principalmente por alterações nas estratégias das políticas governamentais, promovendo alterações na estrutura, na organização e até mesmo no comércio do setor lácteo (OLIVEIRA e SILVA, 2013).

A cadeia de produção do leite começa com os produtores, que podem ser grandes, através de empresas específicas, ou pequenos, oriundos de famílias que utilizam esta atividade para subsistência. Com o intuito de padronizar a qualidade do leite e respeitar as exigências feitas pela Instrução Normativa nº 62 de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), foram criadas cooperativas que coletam o leite produzido pelos pequenos produtores, realizando análises físico-químicas e refrigerando o leite aprovado, para assim serem repassados para indústrias que utilizem este insumo nos seus processos. Essas cooperativas podem ser vistas como peças-chaves nesse processo, uma vez que existe um grande número de agricultores familiares produzindo a baixo custo, e assim existe a

possibilidade de competição com grandes empresas (NIEDERLE e SCHUBERT, 2009; NIEDERLE, SCHUBERT e SCHENIDER, 2014).

O processo realizado por essas cooperativas consiste em coletar o leite em caminhões especializados, descarregar na central de recebimento, realizar análises físico-químicas e destinar o volume aprovado para resfriamento, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2- Fluxograma de processo de uma central de recebimento de leite



Fonte: O autor.

Conhecendo as características e elementos que compõem o leite, realizam-se análises com o objetivo de apontar a ocorrência de problemas que alteram essa composição (FERNANDES e MARICATO, 2010). As análises realizadas em laboratório consistem em apontar irregularidades na produção de leite, como adição de solventes e outros produtos que prejudicam a qualidade do produto. Essas centrais de recebimento possuem cadastro de cada produtor, os quais são avaliados periodicamente para indicar a qualidade do produto enviado à central. Dessa forma, é possível manter um cadastro de bons produtores e afastar aqueles que buscam prejudicar a qualidade do produto.

O principal passivo ambiental do processo de uma central de recebimento é decorrente da má gestão dos resíduos gerados. Os resíduos sólidos são oriundos de todos os insumos utilizados no laboratório de análise, tais como papel, vidro e plástico. O efluente líquido é composto principalmente pelos resíduos gerados na lavagem dos caminhões utilizados e pelo efluente gerado no laboratório de análises. Na lavagem interna dos caminhões são utilizados produtos químicos, tais como hidróxido de sódio e ácido nítrico/fosfórico, que auxiliam na limpeza de resíduos de leite que podem incrustar nas paredes do tanque e causar multiplicação bacteriana contaminando outras cargas (TIKARIKA e SAHU, 2014). Com isso, o efluente gerado apresenta alta carga orgânica, com valores altos de DBO e nitrogênio orgânico, e necessita passar por um tratamento a fim de reduzir esses poluentes, respeitando os limites exigidos na Resolução CONAMA 430/2011 e Resolução CONSEMA 128/2006.

### 3.3 Tratamento de resíduos

Processos industriais são essenciais para o desenvolvimento mundial e toda cadeia produtiva que leva produtos dos mais variados tipos para a sociedade. No entanto, as indústrias responsáveis por tais processos são comumente classificadas como as principais causadoras de passivos ambientais. Todo e qualquer processo de consumo de matéria prima ou produtos acaba gerando resíduos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos. Neste sentido, as indústrias alimentícias são fontes geradoras de efluentes orgânicos, e estes necessitam de tratamento antes de retornar ao meio ambiente, sendo que as indústrias devem gerenciar a prevenção, minimização, reciclagem, tratamento e disposição desses resíduos (LIMA e FERREIRA, 2007).

#### 3.3.1 Efluentes Líquidos

Nas indústrias, a água pode ser utilizada no estado líquido ou de vapor de forma direta ou indireta para produção e fabricação de produtos, seja através de atividades de higienização de determinados lugares ou na incorporação e processos industriais, como geração de vapor e sistemas de troca térmica (SANTOS *et al.*, 2010).

Dentro desse pressuposto, todo resíduo líquido com carga poluente oriunda de processos industriais ou de saneamento possui potencial para causar danos ao meio ambiente.

O tratamento de efluentes líquidos consiste em reduzir a carga poluente a níveis aceitáveis dentro da legislação vigente de cada país, para enfim ter a destinação, uma vez que o lançamento irregular de efluentes causa graves problemas ambientais, como eutrofização de corpos hídricos e contaminação do solo e lençol freático (SOUZA *et al.*, 2013).

Dessa forma, é fundamental que se conheça a composição e a vazão do efluente industrial, pois possibilita a determinação da carga poluidora e do nível de contaminação, características fundamentais para definição do tipo de tratamento e o enquadramento na legislação ambiental, assim, o primeiro passo é caracterizar os efluentes, tratando de forma correta e evitando danos ambientais (COUTO *et al.*, 2004).

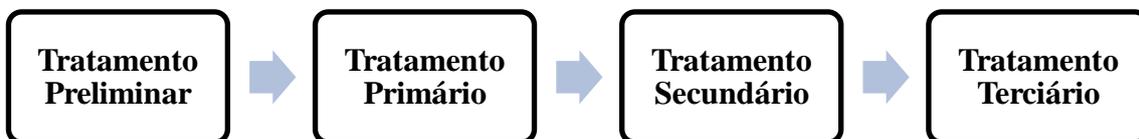
No Brasil, a Resolução CONAMA 430/2011 regulamenta os limites para lançamento de efluentes em corpos hídricos. No Rio Grande do Sul, o limite exigido é mais restritivo, estabelecido pela Resolução CONSEMA 128/2006, aplicável à indústria e saneamento.

Com isso, toda a indústria que gera efluentes líquidos oriundo de seus processos industriais ou tratamentos de saneamento, deve efetuar tratamentos específicos para adequá-los

a essas legislações citadas. O custo associado a esse tratamento é diretamente proporcional a carga poluente presente no efluente (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

Em função do grau de redução dos sólidos suspensos e da ação bioquímica do oxigênio vindo da eficiência de uma ou mais unidades de tratamento é necessário classificar as etapas de tratamento da seguinte maneira: Tratamento Preliminar, Tratamento Primário, Tratamento Secundário e Tratamento Terciário. Cada uma delas estabelece um critério de remoção de poluentes, definida por efluentes com maior carga poluidora de acordo com o esquema descrito na Figura 3.

Figura 3- Tipos de tratamento seguindo o grau de poluentes contidos em um efluente



Fonte: O autor.

O tratamento preliminar geralmente inclui a remoção de detritos e resíduos grosseiros, mesmo sendo um sistema simples e barato, realizado através de grades ou peneiras, é parte importante e fundamental de qualquer sistema de tratamento de efluentes, uma vez que se seguem no sistema podem causar obstruções e prejuízos em alguma etapa posterior (RAMALHO, 1983).

O tratamento primário baseia-se em processos de separação física a fim de separar maior carga de sólidos sedimentáveis não retirados pelo tratamento preliminar, e em decorrência, parte da matéria orgânica. Nesta etapa também predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes e podem vir acompanhados de sistemas de coagulação, com adição de produtos químicos que facilitam a aglomeração de partículas e são eliminados por sistemas de sedimentação ou através do uso de peneiras. Nesta etapa espera-se uma remoção de 60-70% de sólidos suspensos e 25-35% de DBO e essa eficiência pode ser aumentada através da adição de agentes coagulantes, principalmente para efluentes que possuem em suspensão partículas muito finas, com grande estabilidade, e quando utilizados podemos denominar essa etapa de tratamento primário avançado (SPERLING, 2005; USTUN *et al.*, 2016).

A coagulação é um processo primário onde a principal finalidade é a remoção de substâncias coloidais (sólidos em suspensão e dissolvidos) e normalmente é considerado um

pré-tratamento para melhorar a qualidade do efluente na sequência do tratamento (VAZ *et al.*, 2010).

De forma geral, a coagulação anula as forças de repulsão entre as partículas coloidais, através de mecanismos de ligação de agentes químicos (eletrólitos), esse processo necessita primeiramente de agitação intensa para que melhore a interação entre o coagulante definido e os efluentes, e após o processo de coagulação, é necessário uma agitação em menor intensidade para que ocorra o contato entre as partículas menores, para que assim formem agregados maiores ou flocos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; VAZ *et al.*, 2010). Após a formação dos agregados de partículas, estas acabam decantando no fundo, facilitando a sua retirada.

A eficiência do processo de coagulação depende de fatores como o tipo de coagulante, pH, dosagens, tempo e gradiente de velocidade de mistura, assim a otimização destes fatores demanda a eficiência da coagulação (SPERLING, 2005).

Entre os coagulantes mais utilizados nesse processo, podemos citar os sais de alumínio e ferro ou outros, auxiliado ou não por um polímero. Assim, os produtos químicos utilizados nos sistemas de coagulação são variados (PAVANELLI, 2001), porém, os mais utilizados são:

- **Sulfato de Alumínio** – Comumente utilizado em tratamento de água, é um sal de alumínio, que por possuir esse elemento eletropositivo, em contato com a água promove uma atração eletrostática com cargas negativas das partículas, formando flocos e facilitando sua remoção (BORBA, 2001 apud SANTOS, 2011), porém, sua interação com a água causa mudanças no pH e pode prejudicar a qualidade do efluente final;
- **Cloreto Férrico** – O cloreto férrico atua da mesma forma que o sulfato de alumínio, por possuir o Ferro como elemento eletropositivo (SANTOS, 2011), e da mesma forma, altera o pH da água tendo como resultado um efluente que necessita de um polímero para corrigir esse passivo.
- **Tanino** – “Tanino” é um termo técnico para definir compostos orgânicos vegetais ou biopolímeros. São usados como uma alternativa aos coagulantes acima, por serem de origem vegetal e não causar passivos ambientais, não alterando o pH da água (PELEGRINO, 2011);
- **Polímeros** – Podem ser catiônicos ou aniônicos e são utilizados como auxiliares no processo de coagulação por realizar a neutralização de cargas das partículas

suspensas na água, resultando em flocos maiores que outros floculantes e não promove alterações na qualidade do efluente final (CASTRO *et al.*, 2012).

O tratamento secundário tem como principal objetivo a remoção da matéria orgânica, que se apresenta na forma de matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), não removida por processos físicos e a matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa), onde uma grande parte é removida pelo tratamento primário, porém uma parte pode persistir. Essa etapa tem por objetivo remover de 60 a 80% de DBO (SPERLING, 2005).

Existem vários processos de tratamento secundário que objetivam acelerar o processo de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos receptores, porém a sua essência é a inclusão de uma etapa biológica, podendo incluir uma grande variedade de micro-organismos como fungos, bactérias, protozoários entre outros (SPERLING, 2005). A base de todo tratamento biológico é o contato entre os micro-organismos e o material orgânico, onde convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular, e para que ocorra a decomposição biológica efetiva do material orgânico é necessário manter as condições adequadas para a manutenção dos micro-organismos, monitorando temperatura, pH, tempo de contato, presença ou não de oxigênio (dependendo do tipo de micro-organismo) (PUSPITA *et al.*, 2015).

Esses processos biológicos são vistos como métodos econômicos e amigáveis do meio ambiente para o tratamento de águas residuais. Os processos aeróbicos possuem como grande vantagem a capacidade de serem eficientes para diferentes efluentes, reduzindo os odores, já os processos anaeróbicos são mais eficientes em altas temperaturas e altas concentrações de resíduos solúveis e insolúveis, porém o mau cheiro pode ser uma desvantagem quando comparados tais processos (SHOW e LEE, 2017).

O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (que podem ser tóxicos ou não biodegradáveis) ou ajudar na remoção complementar de poluentes não eliminados completamente no tratamento secundário, por isso costuma-se dizer que o tratamento terciário é o polimento de efluentes para destinação final (SPERLING, 2005).

Uma das principais indicações desse tratamento é para retirada descargas saturadas de fósforo (P) e nitrogênio (N), que não são retirados no tratamento secundário, e podem causar eutrofização de sistemas, principalmente em ambientes lênticos, caracterizados por serem ambientes aquáticos de água parada. Tal tratamento geralmente é realizado por tratamento químico (USTUN *et al.*, 2011).

### 3.3.2 Resíduos Sólidos

Resíduos são gerados através do consumo de bens ou de processos e serviços. Com os resíduos sólidos isso ocorre envolvendo uma série de materiais que podem ser reutilizados, no caso de recicláveis ou material orgânico, ou devem receber a destinação correta, como é o caso de resíduos patogênicos e inflamáveis.

O Ministério do Meio Ambiente afirma que as implicações da gestão inadequada de resíduos sólidos no meio ambiente pode causar degradação do solo, comprometimento de mananciais, poluição do ar e até mesmo problemas de saúde pública (BRASIL, 2000; BETRAME *et al.*, 2016).

No Brasil, os resíduos sólidos são classificados de acordo com a Norma NBR 10004:2004, sendo classificados como: Classe I, Classe II A e Classe II B. Os resíduos classe I são aqueles que apresentam algum risco para a saúde ou para o meio ambiente. Nesse sentido, o lodo gerado pelo tratamento de efluentes, é classificado como resíduo classe I e deve ser destinado de maneira correta para aterros ou utilizado na agricultura, através de processos de compostagem (ANDREOLLI *et al.*, 2001).

A compostagem é um método de reciclagem de matéria orgânica, que pode ser industrial ou doméstica e pode ser definida como o processo de produção de adubo a partir da decomposição de resíduos orgânicos. Quando o efluente é rico em nutrientes, como nitrogênio e fósforo, podem propiciar condições ótimas para sua utilização no solo, melhorando-o para utilização na produção agrícola (ANDREOLLI *et al.*, 2001).

A partir do conhecimento dos tipos de resíduos gerados pelas indústrias, de forma geral, verifica-se que estas precisam conhecer seus efluentes e desenvolver sistemas de tratamento específicos, seja para resíduos sólidos, líquidos ou gasosos com o objetivo final de remover os poluentes, reduzindo os danos ambientais.

Sabendo que entre as indústrias alimentícias, os laticínios estão entre os que mais produzem efluentes com alta carga orgânica, é necessário buscar alternativas para reduzir os danos e na literatura encontramos diversos trabalhos que buscam melhorar a qualidade dos efluentes nas indústrias de laticínios, usando diferentes métodos e obtendo variáveis melhorias.

Couto e colaboradores (2004) avaliaram a aplicação de uma técnica de flotação por ar dissolvido para o tratamento de efluentes da indústria de leite e foram obtidas eficiência de separação de até 90%, utilizando uma pressão de saturação de até 4 atm.

Andrade (2011) testou biorreatores de membrana, uma vez que possuem como vantagem a remoção total de sólidos suspensos e produção de efluentes com elevada qualidade, associando ao processo de nano filtração, que permite a reutilização da água. Para realização do experimento, os biorreatores foram operados com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 5,6 horas e idade do lodo de 60 dias. O permeado apresentou qualidade de reuso e as características do concentrado permitiu que os mesmos pudessem ser liberados na água de acordo com os parâmetros da legislação.

Andrade e colaboradores (2014) estudaram biorreatores com membrana como sendo um dos processos mais promissores para tratamento de águas residuais provenientes de laticínios, melhorando a qualidade do efluente. Neste estudo avaliaram a condição do efluente após passagem por biorreatores de membrana, encontrado resultados importantes, com 98 e 99% de remoção na demanda química de oxigênio (DQO) e cor aparente, respectivamente.

Villa e colaboradores (2007) avaliaram a aplicação do processo foto-fentonsolar na redução da carga orgânica do efluente de indústrias de laticínios, visando sua aplicação como uma etapa de pré-tratamento ou tratamento emergencial. Os autores observaram uma redução de 50% a 90% para compostos orgânicos após 3,5 horas de irradiação, mostrando que esse processo pode ser uma alternativa para a redução do teor orgânico de águas residuais de laticínios.

Santos e colaboradores (2009) estudou o processo de coagulação química e da sedimentação como tratamento do efluente da indústria láctea, utilizando um efluente sintético, e testados seis coagulantes (sulfato férrico, ácido clorídrico, cloreto férrico, polieletrólito, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio) e a eficiência analisada através das análises de teor de gorduras e óleos, demanda química de oxigênio e turbidez. Os resultados mostram que os coagulantes mais eficientes foram cloreto férrico e sulfato de alumínio, apresentando redução de 98 % da turbidez, 95 % do teor de gorduras e óleos e 60% de eficiência de remoção de DQO.

Pokrywiecki e colaboradores (2013) avaliaram a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes de laticínio usando métodos convencionais de tratamento, constituído por duas lagoas (uma aeróbia e uma anaeróbia avaliando) os seguintes parâmetros: pH, DQO e DBO. Os resultados mostram que o processo de tratamento empregado é eficiente na remoção de poluentes, uma vez que os valores médios de pH (8,12), DQO (94%) e DBO (90,15%) mostraram uma redução significativa nos parâmetros analisados.

Silva e Eyng (2013) compararam os resultados de análise de água de dois diferentes tratamentos de efluentes de laticínios, um sistema convencional de lagoas e um filtro

biológico, avaliando DBO, DQO, pH, óleos, graxas e sólidos sedimentáveis. Os resultados mostram que o sistema de biofiltro apresentou melhor desempenho em relação ao filtro de lagoas.

Silva e colaboradores (2016) avaliaram a ação de diferentes coagulantes no pré-tratamento de resíduos da indústria de laticínios. Obtiveram remoção de turbidez em torno de 100 NTU tanto para o cloreto férrico como para o sulfato de alumínio, mostrando que poderiam se utilizados para melhoria da qualidade do efluente.

Considerando que a indústria de laticínios gera grande quantidade de efluentes, e que este apresenta grande carga orgânica e não pode ser desprezado sem o tratamento adequado, e considerando também que a utilização de coagulantes pode auxiliar na melhoria da qualidade dos efluentes gerados, esse trabalho visa, além de segregar os resíduos das análises do leite, testar diferentes coagulantes, visando otimizar o processo de tratamento dos resíduos de uma empresa de recebimento de leite.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo avaliou as condições de tratamento e gerenciamento de resíduos de uma unidade de recebimento de leite na região de Erechim/RS.

O estudo foi dividido em duas etapas distintas: i) uma vinculada aos resíduos gerados nas análises laboratoriais de caracterização da qualidade do leite, os quais são encaminhados para descarte externo ou armazenados na empresa (geração de um passivo ambiental) e, ii) outra relacionada a eficiência do sistema de tratamento atualmente empregado pela empresa no tratamento dos efluentes gerados na etapa de limpeza de caminhões, pisos e equipamentos.

Na primeira etapa foi realizada a segregação dos resíduos provenientes das análises do laboratório físico-químico, com o intuito de reduzir o custo, uma vez que os mesmos são encaminhados a empresa terceirizada para tratamento, e, na segunda etapa, foi realizada a avaliação e uma proposta de adequação e melhoria do tratamento de efluentes atualmente utilizado na empresa.

Os procedimentos foram realizados de acordo com a natureza das operações: segregação dos resíduos no laboratório de análises físico-química de leite; coleta das amostras e avaliação do sistema, na estação de tratamento de efluentes da empresa; análises do efluente no laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia de Alimentos - Laboratório de tratamento de resíduos e Laboratório de prestação de serviços, ambos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

### 4.1 Materiais

As vidrarias, reagentes e equipamentos utilizados nos procedimentos são pertencentes ao Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Os reagentes e equipamentos utilizados estão descritos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Reagentes utilizados no desenvolvimento experimental.

Reagente	Marca
Tanino	Tanac
Cloreto Férrico (FeCl <sub>3</sub> )	Dinâmica
Sulfato de alumínio	Synth
Policloreto de Alumínio (PAC)	QGS Química

Poliacrilamida de baixa densidade (Gel Flocc <sup>®</sup> )	QGS Química
Sulfato de Prata (Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Vetec
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Sigma
Dicromato de Potássio (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	Synth
Sulfato de Mercúrio (HgSO <sub>4</sub> )	Vetec

Tabela 2- Equipamentos utilizados conforme as análises realizadas.

Equipamento	Especificação	Análise
Espectrofotômetro	LS- 7052 - BIV Série 12899	DQO
Termorreator	DRY BLOCK MA 4004, MARCONI	DQO
Colorímetro digital	Hach, DR870	Cor, Turbidez
pHmetro	pH LAB 827, Metrohm	pH

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Resíduos Laboratoriais

Inicialmente foi realizado um levantamento de dados com o intuito de caracterizar os resíduos gerados para posterior definição de estratégias de tratamento visando redução de custos, considerando as normas ambientais.

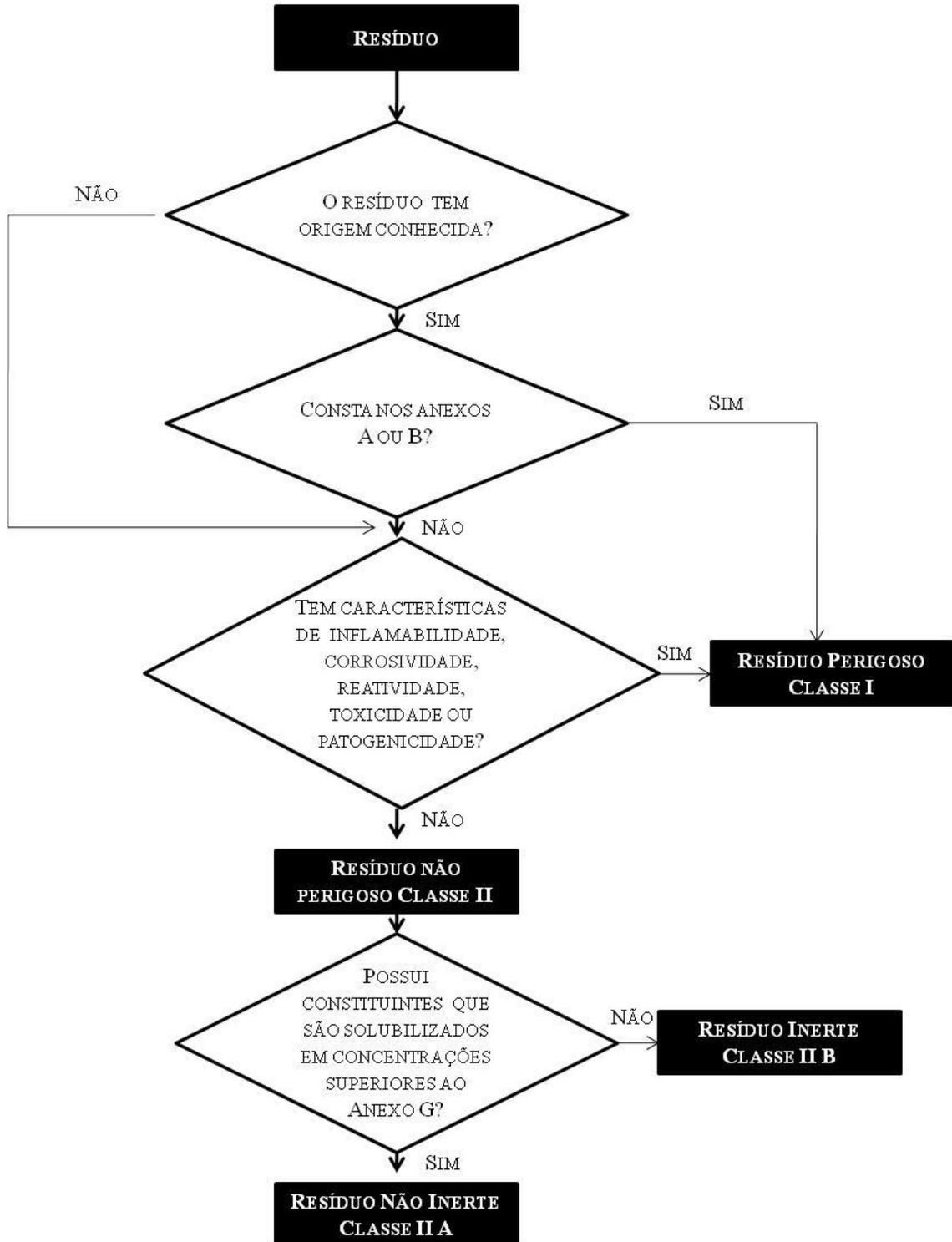
A coleta de informações foi referente aos seguintes aspectos:

- Estado físico (sólido/líquido);
- Quantidade de resíduos gerados;
- Se há ou não classificação dos mesmos quanto a periculosidade (Classe I ou Classe II);
- Destino.

### 4.2.2 Classificação dos Resíduos

A classificação dos resíduos gerados na etapa de análise da qualidade do leite foi conduzida de acordo com a NBR 10004:2004 (Figura 4), em função das características dos mesmos, considerando as metodologias, mais especificamente os reagentes empregados para as análises da qualidade de leite.

Figura 4- Fluxograma de classificação de resíduos sólidos de acordo com a NBR 10004:2004.  
 Fluxograma de classificação de resíduos sólidos de acordo com a NBR 10004:2004.



A partir da análise de cada metodologia, mais especificamente pelos reagentes, foi possível definir quais resíduos necessitariam ser encaminhados para tratamento externo e quais poderiam ser encaminhados para tratamento junto com os demais efluentes (águas de limpeza de caminhões, pisos e equipamentos) ao sistema que a empresa adota atualmente, reduzindo assim o custo relacionado a destinação do tratamento externo, o qual é atualmente utilizado para todos os produtos químicos utilizados no laboratório.

### **4.3 Sistema de tratamento de Efluentes Líquidos em funcionamento na empresa**

O sistema de tratamento de efluente existente inicia pela captação da água (por diferença de gravidade) utilizada na lavagem interna dos caminhões e dos resíduos líquidos gerados no laboratório. Ele é constituído de peneira, caixa de gordura, tanque de equalização e neutralização, flotador e lagoa aerada.

#### **4.3.1 Avaliação da eficiência do processo**

Para avaliar a evolução da eficiência do processo de tratamento e, com isso, identificar falhas no sistema foi necessário realizar a caracterização do mesmo após diferentes etapas do tratamento.

Com base no exposto, o efluente gerado pela central de recebimento de leite foi caracterizado em três momentos distintos, saída do tanque de equalização (entrada do flotador), saída do flotador (entrada da lagoa) e saída da lagoa. Os parâmetros acompanhados foram: DQO ( $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ); Fósforo Total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); Nitrogênio Total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); Óleos e graxas ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e Sólidos Totais ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Essas medidas foram realizadas em laboratório terceirizado pertencente a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Também foram realizadas, no tanque de equalização, medidas de pH, três vezes ao dia, no início, no intervalo e ao término das atividades para avaliar se o mesmo está atuando eficientemente. As leituras de pH foram realizadas em temperatura ambiente ( $25^\circ\text{C}$ ), em pHmetro digital de bancada (pH LAB 827, Metrohm), previamente calibrado com padrões adequados, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st Edition, 2012. Método 4500 B.

#### 4.3.1.1 Caracterização da Cor

O método utilizado para determinação da cor aparente foi o espectrofotométrico, através de um colorímetro (Hach DR 870) com comprimento de onda de 455 nm (BENAZZI, 2013). A unidade medida é em unidade Hazen (uH). Foi utilizado 20 mL do efluente.

#### 4.3.1.2 Turbidez

A turbidez é um parâmetro físico bastante avaliado em efluentes, e pode ser avaliado pela quantificação da resistência encontrada pela luz ao passar pelo meio analisado, pode estar relacionada à presença de partículas suspensas e quanto menor seu valor, menor a quantidade de sólidos suspensos e melhor a qualidade do meio líquido, seja água ou efluente (DIBERNARDO, 1993).

A turbidez foi medida por método absortométrico por leitura direta em colorímetro digital (Hach, DR 870), expresso em unidade nefelométricas de turbidez (UNT), calibrado com suspensões padrão de formazina (BENAZZI, 2013). Foi utilizado 20 mL do efluente.

#### 4.3.1.3 Demanda Química de Oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) é uma medida da quantidade de oxigênio utilizado na oxidação química da matéria inorgânica e orgânica presentes nas águas residuais.

A metodologia utilizada para determinação de DQO foi baseada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, que emprega como reagentes as soluções padrão de ftalato ácido de potássio, solução ácida ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado) e solução digestora (composta de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{HgSO}_4$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diluídos em água). O método consiste na redução do cromo ( $\text{Cr}^{6+}$  a  $\text{Cr}^{3+}$ ) e subsequente análise através da modificação da coloração, em um espectrofotômetro. A digestão das amostras foi conduzida em um termorreator (DRY BLOCK MA 4004, MARCONI) a 150 °C, por 2 horas e a leitura foi realizada através de um espectrofotômetro Ultraviolet Visible Spectrophotometer, modelo LS- 7052 - BIV Série 12899.

### **4.4 Processo físico-químico de Coagulação**

Uma das deficiências identificadas no sistema foi a ausência de um tratamento primário, destinado a remoção de matéria orgânica em suspensão.

Neste contexto foi realizado em estudo de bancada com este fim, onde avaliou-se três coagulantes distintos: Tanino (Tanac), Cloreto Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) (Dinâmica) e Policloreto de Alumínio (PAC) ( $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$ ) (QGS Química do Brasil Ltda). Quando do emprego do PAC avaliou-se associativamente o emprego de polímeros.

Em função da estabilidade do pH, os testes foram realizados com o efluente do tanque de equalização. Devido ao seu enorme volume (aproximadamente  $100 \text{ m}^3$ ) o mesmo consegue evitar oscilações significativas no pH, mesmo a unidade gerando periodicamente efluentes com características distintas de pH devido a variação (recomendada) dos detergentes empregados para a limpeza interna dos caminhões (CIP), os quais são hora alcalinos e hora ácidos.

Antes dos ensaios, o pH foi corrigido com hidróxido de sódio (NaOH), conforme a faixa de utilização de cada coagulante, a fim de verificar qual o valor necessário para o começo da coagulação/decantação de partículas. A correção de pH é um parâmetro importante no processo de coagulação, pois, cada coagulante possui uma faixa de operação específica (VAZ *et al.*, 2010).

Os pHs iniciais dos efluentes, foram ajustados para 7 quando empregados Tanino, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico e para 9 quando empregado PAC associado a um polímero (catiônico ou aniônico). A correção do pH foi realizada com uma solução de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , quando necessário.

Os testes para os três floculantes foram realizados empregando 200 mL de efluente. O PAC foi avaliado de forma consorciada com um polímero catiônico (Gel Floc<sup>®</sup>) identificado comercialmente como 5020.

As concentrações dos coagulantes a serem testadas foram determinadas mediante estudo bibliográfico, tendo como base os trabalhos de Silva (2006), Magnan (2010) e Soares *et al.* (2016). Contribui também para a escolha das concentrações testadas, ensaios preliminares para avaliação da formação de flocos.

A velocidade e o tempo de agitação para realização dos testes de concentração com os diferentes coagulantes foram mantidos constantes de forma a propiciar o controle das concentrações a serem utilizadas para cada coagulante e para possibilitar a comparação e definição da melhor concentração, e as essas condições foram definidas em estes preliminares (VICENTE *et al.*, 2010).

As condições testadas para cada floculante estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3- Concentrações testadas dos coagulantes empregues no presente estudo

Floculante	Volume (mL)	Concentração (%)
Solução de cloreto férrico a 10% pH <sub>i</sub> = 7,0	1,0	0,5
	0,75	0,375
	0,5	0,25
	0,4	0,2
	0,25	0,12
Suspensão Comercial de Tanino pH <sub>i</sub> = 7,0	0,2	0,1
	0,1	0,05
	0,05	0,025
	0,04	0,02
	0,02	0,01
Solução de PAC a 10% + Gel Flocc <sup>®</sup> pH <sub>i</sub> = 9,0	0,01	0,005
	2,0/1,0	1/0,5
	1,8/0,8	0,9/ 0,4
	1,5/0,5	0,75 /0,25
*Solução de PAC a 10% + Gel Flocc <sup>®</sup>	1,2/0,5	0,6 /0,25
	1,0/0,5	0,5 / 0,25
	9,0/4,0	0,9/0,4

\*Ensaio conduzido com 1 Litro de efluente

Fonte: O autor

Para esta etapa foram avaliados os parâmetros turbidez (NTU) e Cor (uC) do sobrenadante após a decantação dos sólidos. Na melhor condição avaliou-se também o parâmetro DQO. Os parâmetros foram determinados de acordo com as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water (2005).

Após a otimização para o PAC foi conduzido um aumento de escala na melhor condição, empregando a metodologia do Jar-test (Figura 5), que consiste na adição de um coagulante em 1 Litro de efluente, em função do volume do Jar Test, agitação por um tempo de 1 um minuto e avaliação da formação de flocos e posterior decantação, sendo controlados os parâmetros de tempo e velocidade.

Nesta etapa também avaliou-se diferentes formulações comerciais de polímeros (Gel flocc<sup>®</sup>, marca QGS Química) com características catiônicas (5020) e aniônicas (4040 e 4030). Para tanto foi utilizado uma solução contendo 1g/L. Todos os polímeros são recomendados para processos de separação sólido/líquido, espessamento e desidratação de lodos. O “5020” apresenta característica catiônica e viscosidade Brookfield de 100-350. Os polímeros “4030” e o polímero “4040” apresentam caráter aniônico e apresentam viscosidade variando de 150 a 800.

Figura 5- Sistema de Jar-test utilizado no experimento



Fonte: QGS Química

Este equipamento é munido de 3 reatores (copos), no qual se realizam ensaios de coagulação/floculação simultaneamente, através de um sistema mecânico, que realiza a agitação (mistura) nos copos ao mesmo tempo. Apresenta controle de velocidade, a qual foi utilizada em 100 rpm na alcalinização; 80 rpm após adição do coagulante, mantida por 1 minuto e 60 rpm durante 24 s após a adição do polímero, controlados pelo uso de um cronômetro.

Os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção, utilizando a Equação 1:

$$E = \frac{[C_i - C_f]}{C_i} * 100 \quad [1]$$

em que:

E = eficiência de remoção (%);

$C_i$  = concentração inicial;

$C_f$  = concentração final;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo foi realizado tendo como objeto de pesquisa dois tipos de geração de efluentes: um vinculado às análises laboratoriais gerando um passivo ambiental de 140 L e outro vinculado à limpeza de caminhões, equipamentos e pisos com um volume mensal de 600.000 L de efluente. Este último possui um sistema de tratamento convencional, o qual emprega um processo físico associado a um biológico para seu tratamento.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados das referidas linhas de estudo neste trabalho.

### 5.1 Efluente vinculado às análises laboratoriais

Praticamente todo experimento de laboratório emprega reagentes químicos e gera algum tipo de resíduo como, por exemplo, materiais de filtração, soluções ácidas e alcalinas, solventes orgânicos e substâncias químicas perigosas (como metais pesados). Além disso, a manipulação de diferentes tipos de resíduos acarreta elevadas concentrações de matéria orgânica nos efluentes dos laboratórios. Como consequência, tais efluentes possuem características bastante agressivas, como pH extremamente baixo, altos valores de DQO e metais pesados (ALVES *et al.*, 2005).

Atualmente os resíduos gerados nas análises laboratoriais a que o leite é submetido para avaliar sua qualidade são todos armazenados em um mesmo recipiente na própria unidade, gerando a cada ano um significativo passivo ambiental.

A segregação dos resíduos gerados na etapa referente à caracterização do leite quando o mesmo chega à unidade de resfriamento baseou-se na avaliação das metodologias empregadas visando à qualidade do leite, bem como a identificação de fraudes (teste do alizarol, acidez, teor de lipídeos, redutase, mastite, cloretos, álcool etílico, amido, sacarose, cloro e hipoclorito, neutralizantes, peróxido de hidrogênio, formol e soro), mais especificamente nos reagentes empregados para cada análise, cujas metodologias de análises são descritas no Apêndice A.

Os resultados referentes à composição, mais especificamente aos reagentes empregados em cada análise, bem como o volume gerado no laboratório de análises da unidade são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resíduos aproximados gerados no laboratório de análises da unidade de recebimento e resfriamento de leite

Análise	Reagente	Ação	Quantidade mês (L)*
Alizarol	Alizarol	Indicador de acidez e estabilidade térmica do leite	8,0
Acidez	Hidróxido De Sódio	Base forte	19,0
	Fenolftaleína	Indicador ácido-base	
Lipídeos	Álcool Isoamílico	Líquido Inflamável biodegradável	1,5
	Ácido Sulfúrico	Ácido forte e agente oxidante	
Redutase	Azul De Metileno	Indicador de oxidação/redução	11,0
CMT CaliforniaMastit Test	Púrpura de bromocresol	Indicador de mastite	2,0
Cloretos	Nitrato De Prata	Forte agente oxidante	16,0
	Cromato De Potássio	Agente oxidante	
Álcool etílico	Antifoan	Surfactante	2,2
	Ácido Sulfúrico	Ácido forte e agente oxidante	
	Dicromato de Potássio	Forte agente oxidante	
Amido	Lugol	Indicador	11,0
Sacarose	Ácido Sulfúrico	Ácido forte e agente oxidante	7,7
	Resorcina	Composto fenólico indicador	
Neutralizantes	Álcool Etílico	Líquido Inflamável biodegradável	16,3
	Ácido Rosólico	Indicador de pH	
Peróxido de hidrogênio	Guaiacol	Composto orgânico	15,1
Formol	Ácido Clorídrico	Ácido forte facilmente ionizável	6,0
	Cloreto Férrico	Sal ácido	
	Ácido Sulfúrico	Ácido forte e agente oxidante	
	Ácido Cromotrópico	Ácido Sulfônico	
	Ácido Fosfórico	Ácido semi-forte	
CMP Caseinomacropéptideo	Ácido Clorídrico P.A.	Ácido redutor, reagente precipitante	14,0
	Ácido Tricloroacético 24%	Agente oxidante, reagente precipitante	
	Ácido Fosfotúngstico	Catalisador de alta acidez e estabilidade térmica	
	Álcool Etílico 95%	Utilizado como solvente	
	Acido Acético Glacial P.A	Ácido fraco utilizado como solvente	
	Ninidrina Ácida	Forte agente oxidante	

Cloro	Iodeto de potássio Ácido acético	Ácido fraco utilizado como solvente	10,3
CIP Clean in place	Hidróxido De Sódio Ácido Sulfúrico Fenolftaleína	Base forte Ácido forte e agente oxidante Indicador ácido-base	0,8
Efluente Total: 140,9 L			

\*Considerando o volume do reagente e da amostra a ser analisada.

Fonte: O autor

Analisando todos os resíduos gerados, os que necessitam atenção especial são os gerados para realização das análises de cloretos e de álcool etílico, em função dos reagentes utilizados (nitrato de prata, cromato de potássio, dicromato de potássio). Estes reagentes são os que apresentam elevado risco de contaminação quando descartados no tratamento de efluentes da unidade de recebimento de leite em estudo.

A presença em elevadas concentrações dos metais pesados cromo e prata em suas composições tornam estes resíduos de Classe I, ou seja, perigosos (ABNT 10.004). Caso estes resíduos sejam agregados a outros resíduos, independente de suas classificações, os últimos automaticamente passam a ser classificados como Classe I, implicando em outro tipo de descarte para os mesmos, normalmente muito mais oneroso economicamente. Esta contaminação é conhecida como cruzada.

Além da toxicidade, se esses metais forem lançados no sistema de tratamento de efluentes da empresa, podem interferir nos micro-organismos presentes na lagoa aeróbica, pois embora os micro-organismos possam tolerar a presença de algumas substâncias ou elementos tóxicos presentes em efluentes, os mesmos podem apresentar sensibilidade a determinados compostos químicos, comprometendo o tratamento final do efluente (ALVES *et al.*, 2005).

A contaminação cruzada, proporcionada pela agregação/mistura de resíduos distintos, pode ser evitada mediante o emprego de uma etapa de segregação, onde os resíduos de diferentes fontes, após classificação correta, podem ser descartados adequadamente.

No caso específico, após uma análise dos reagentes empregados nas diferentes análises, onde se desconsiderou os ácidos e bases, os quais podem ser facilmente neutralizados, constatamos que somente os resíduos das análises de cloretos e álcool etílico não podem ser agregados ao restante dos efluentes da unidade, os quais referem-se às etapas

de lavagem de caminhões, equipamentos e pisos e são submetidos a um processo de tratamento convencional (físico seguido de biológico).

A implementação da segregação de resíduos contribui para a qualidade do efluente final, uma vez que o conhecimento das características qualitativas e quantitativas dos efluentes são essenciais para o planejamento e definição do sistema de tratamento de efluente mais adequado para ser implementado na indústria (MALHEIROS e PHILIPI, 2005).

Cabe destacar que ao fazer a segregação destes dois resíduos Classe I (os quais representam juntos 18,2 L/mês) em relação aos demais (122,7 L/mês), os quais em função de suas características podem ser incorporados ao restante dos efluentes e tratados de modo convencional, a unidade estará reduzindo em aproximadamente 85% os custos com descarte, o qual é direcionado atualmente para a empresa Central de Tratamento de Resíduos – CETRIC, de Chapecó – SC, a um custo de aproximadamente R\$ 20,00/L.

Em termos de valores, o custo mensal com o descarte dos resíduos gerados no laboratório passará de R\$ 2.818,00 (referente aos 140,9 L) para R\$ 364,00 (referente aos 18,2 L), correspondendo a uma economia de R\$ 2.454,00, a qual representa em um ano o equivalente a R\$ 29.448,00, capital este que poderá ser reinvestido na empresa, na própria unidade de tratamento de efluentes, a qual demanda otimizações para atingir todo o seu potencial no que se refere ao tratamento convencional de efluente.

## **5.2 Sistema de Tratamento Convencional**

### **5.2.1 Caracterização do Efluente**

Para avaliar a evolução da eficiência do processo de tratamento e, com isso, identificar falhas no sistema, o efluente gerado pela central de recebimento de leite foi caracterizado em três momentos distintos, saída do tanque de equalização (entrada do flotor), saída do flotor (entrada da lagoa) e saída da lagoa. Os resultados referentes à caracterização (sólidos totais; DQO, óleos e graxas, fósforo e nitrogênio) destas três amostras encontram-se apresentados na Tabela 5 e Apêndice B. Os ensaios foram realizados em triplicata para as análises de sólidos totais, DQO, fósforo e nitrogênio e em duplicata para óleos e graxas.

A Tabela 5 mostra a problemática do efluente gerado neste posto de recebimento e resfriamento de leite, e revela que o atual sistema de tratamento de resíduos não está sendo eficiente, apresentando elevadas quantidades de matéria orgânica, óleos e graxas e sólidos totais (todos acima do recomendado pela legislação), mesmo após a saída da lagoa, que

corresponde ao final do sistema de tratamento proposto pela empresa. Mesmo que a Resolução CONAMA 430/2011 não estipule padrões máximos permitidos nos corpos receptores, a Resolução CONSEMA 128/2006, preconiza limite de 400 mg.L<sup>-1</sup> para DQO para geração diária de até 20 m<sup>3</sup> de efluente, evidenciando a falta de qualidade do efluente final nesta unidade, apresentando DQO 7 vezes acima do valor preconizado pela legislação.

Tabela 5- Caracterização do efluente do tratamento atual e padrões estabelecidos pela legislação

Parâmetros (mg.L <sup>-1</sup> )	Entrada do Flotador	Saída do Flotador	Saída da Lagoa	Padrões de lançamento CONAMA 430/2011	Padrões de lançamento CONSEMA 128/2006
DQO	3873±183,7	3495±5,7	3372 ± 70,4	-	400
Óleos o Graxas	79±16,4	167±0	36,8±7,00	50	30
Sólidos Totais	2063±21,4	2184±4	3968±34,7	-	-
Fósforo	28±0,2	31±0,23	38±0,35	-	4
Nitrogênio	92±2,1	113±0,8	168 ± 0,77	20	20

Vazão: 9.000 L.h<sup>-1</sup>, tempo de operação diário: 2 h

Fonte: O autor

A presença de alto teor de DQO esta relacionada à elevada quantidade de matéria orgânica presente neste tipo de efluente, que pode ser biodegradável ou não. A biodegradável serve de alimento para micro-organismos de origem aeróbica, processo este que ocorre consumindo oxigênio, ou seja, diminuindo o teor de oxigênio da água (ANDRADE, 2011).

As análises iniciais do efluente revelaram além da alta carga orgânica, elevadas concentrações de nutrientes eutrofizantes como o nitrogênio e o fósforo. De acordo com Abrahão *et al.* (2006), as águas brutas de laticínios apresentam teores desses nutrientes semelhantes ou até superiores aos do esgoto doméstico. Para estes parâmetros, os valores obtidos de 38 mg.L<sup>-1</sup> para o fósforo e 168 mg.L<sup>-1</sup> para o nitrogênio, encontram-se muito acima (9,5 vezes para o P e 8,4 vezes para o N) dos recomendados pela Resolução CONSEMA 128/2006, que são de até 4 mg.L<sup>-1</sup> para fósforo e 20 mg.L<sup>-1</sup> para nitrogênio. Os elevados teores de fosforo foram vinculados aos detergentes ácidos empregados na etapa de limpeza, enquanto que os elevados teores de N aos teores proteicos (aminoácidos) presentes no leite.

A elevada quantidade de óleos e graxas verificada se justifica pela grande quantidade de gordura presente no efluente bruto oriunda da matéria-prima processada e do processo produtivo adotado pela empresa e este parâmetro, mesmo decrescendo até o final do

tratamento proposto pela empresa (redução de 53,4%), ainda está acima da legislação proposta (CONSEMA 128/2006) que é de 30 mg.L<sup>-1</sup>. Observou-se que ocorre um aumento da concentração de óleos e graxas após a etapa de flotação, o que é devido a problemas de manutenção, pois foi evidenciado que as pás que compõe o sistema não entravam em contato com o efluente, não proporcionando a remoção da gordura flotada.

Essa grande quantidade de óleos e graxas, em contato com a água no tratamento biológico, pode criar uma película bloqueadora a penetração da luz solar, impedindo as trocas gasosas, interferindo na qualidade da água (AZZOLINI e FABRO, 2013).

A avaliação de sólidos totais também é um parâmetro importante e se refere a presença de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos nas águas, estes, por sua vez, estão relacionados aos sólidos de origem orgânica denominados sólidos voláteis e sólidos de origem mineral denominados sólidos fixos (AZZOLINI e FABRO, 2013). Tanto o CONAMA quanto o CONSEMA não preconizam valores máximos de sólidos totais nos corpos receptores, assim não é possível comparar os resultados obtidos, mas pode-se verificar que o sistema de tratamento não é eficiente para remoção, pois a concentração de sólidos totais não reduziu no final do tratamento e esta seria a finalidade da existência de tratamentos primários. Ao contrário, ao invés de reduzir a quantidade de sólidos totais verificou-se um aumento de quase 100% na concentração de sólidos totais após o tratamento, o que corrobora a ideia inicial de que o sistema encontra-se saturado, com um acúmulo de matéria orgânica, o que impossibilita o processo ser realizado de maneira satisfatória.

Assim, conclui-se que o tratamento do efluente realizado atualmente não é eficaz, uma vez que na saída da lagoa, após o efluente passar por todo sistema de tratamento, ainda apresenta altos níveis de DQO, fósforo, nitrogênio, óleos e graxas e sólidos totais, evidenciando a necessidade de implementação de melhorias no tratamento do efluente.

### 5.2.2 Identificação de falhas e proposição de melhorias no sistema

Juntamente com as análises da qualidade do efluente, avaliou-se a atual condição da unidade de tratamento que vem sendo disposto, de forma a propor uma otimização com o intuito de adequar e melhorar a qualidade do efluente final.

O sistema de tratamento de efluente existente é constituído por um sistema de captação do efluente gerado que atua por diferença de gravidade, captando a água utilizada na lavagem interna dos caminhões, pisos e equipamentos, bem como de alguns resíduos líquidos

gerados no laboratório. O sistema completo é constituído de peneira, tanque de equalização e neutralização, flotor e lagoa aerada (Figura 6).

Figura 6- Fluxograma atual do tratamento de efluentes da empresa



Fonte: O autor

A seguir, será apresentada a atual condição das instalações utilizadas na unidade para tratamento do efluente gerado nas atividades de higienização dos caminhões.

As Figuras 7 e 8 mostram uma vista da empresa e suas instalações, bem como uma visão geral do tratamento atual. O sistema consiste em: passagem do efluente por uma peneira, caixa de gordura, tanque de estabilização (Figura 8), flotor e lagoa aeróbia, para então lançar o efluente tratado no solo (Figura 9).

Figura 7- Visão panorâmica do tratamento da empresa. (A) central de recebimento e triagem do leite recebido e local para lavagem de caminhões, (B) início do tratamento de efluentes.



Fonte: O autor

Figura 8- Visão panorâmica do tratamento de efluentes, provenientes da lavagem de caminhões. (1) Peneira, (2) Caixa separadora, (3) Equalizador, (4) Flotador, (5) Lagoa aeróbia, (6) Efluente tratado



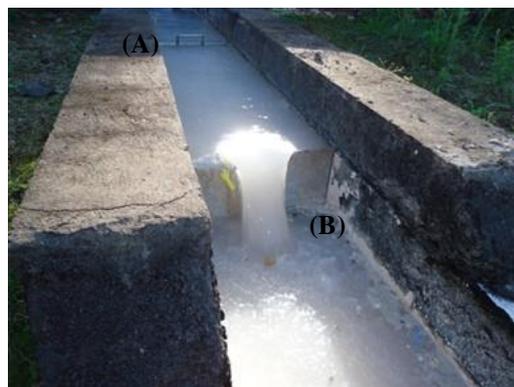
Fonte: O autor

O efluente é direcionado ao tratamento por tubulações, por diferença de gravidade e visualiza-se a etapa preliminar de remoção de sólidos grosseiros (Figura 9), passagem pela caixa de gordura (Figura 10) e tanque de equalização (Figura 11).

#### 5.2.2.1 Peneira

Na etapa da peneira (Figura 9) são retidos os sólidos grosseiros como tampas, frascos e demais materiais que não se enquadram ao tipo de tratamento a ser realizado, esses materiais deveriam ser removidos periodicamente.

Figura 9 - (A) Detalhe da peneira e (B) Vertedouro do sistema de tratamento de resíduos



Fonte: O autor

A remoção de sólidos grosseiros tem a finalidade de proteger as etapas subsequentes, evitando danos a bombas e tubulações.

A avaliação desta etapa indicou que a peneira não é 100% eficiente na remoção, pois foram observadas tampas na canaleta. Além disto, a limpeza não é periódica, o que contribui para problemas futuros.

#### 5.2.2.2 Caixa Separadora de Gordura

As caixas de gordura comuns permitem a separação da massa de gordura, por retirada manual ou por meio de raspadores. Para melhorar o desempenho devem ser evitadas temperaturas acima de 35°C e valores de pH acima de 8,5 na alimentação da caixa, pois nessas condições ocorre saponificação ou emulsificação das gorduras (MENDES *et al.*, 2015). Além disso, os óleos e graxas podem solidificar em temperaturas baixas causando problemas operacionais e ainda o acúmulo de efluentes com odores desagradáveis (VALADÃO *et al.*, 2007).

A Figura 10 evidencia a caixa de gordura que é a destinada a reter, na sua parte superior as gorduras, óleos e graxas contidos no efluente, formando camadas que devem ser removidas periodicamente, evitando que esses componentes escoem livremente na rede, obstruindo a mesma (ABNT 1999 Norma 8160).

Figura 10 - Detalhe da caixa de gordura



Fonte: O autor

A avaliação indicou que a caixa de gordura encontra-se em situação precária, com rachaduras e infiltrações, comprometendo não só o sistema por não atender a demanda, mas

também o solo. A barreira destinada à retenção da gordura apresentava ruptura com mais de 10 cm de diâmetro, permitindo a passagem de gordura. Além disto, identificou-se que a camada de gordura encontra-se abaixo da barreira, indicando que a mesma estava passando pela barreira, ou seja, que a retenção era limitada, comprometendo a eficiência desta etapa. Também se constatou que não havia nenhuma pessoa encarregada pela limpeza da mesma, a qual deveria ocorrer periodicamente em períodos curtos, no máximo de 3 em 3 dias.

Esses resíduos ricos em gordura podem trazer grandes danos ao ambiente, levando a formação de filmes de óleo na superfície aquática, inibindo a passagem de oxigênio para o interior dos corpos d'água e permitindo a mortalidade de um grande número de espécies aquáticas, além de interferir negativamente na eficiência das estações de tratamento que serão receptores desta carga orgânica (MENDES *et al.*, 2015).

Dentre os estabelecimentos que originam grande quantidade de lipídeos nos sistemas de tratamentos, tem-se as indústrias de óleos comestíveis, laticínios, curtumes, matadouros, efluentes domésticos e de restaurantes (MENDES *et al.*, 2005). Nos laticínios, a água residuária produzida é rica em material gorduroso que é retirado por meio da caixa de gordura e de flutuadores, visando melhor desempenho do sistema de tratamento (SILVA e EYNG, 2012). Normalmente esta gordura recuperada é reutilizada pela empresa em outros processos, como incorporação em rações, produção de sabões e biodiesel.

Existem na literatura alguns trabalhos que buscam o aproveitamento dos óleos e graxas residuais. Borsato *et al.* (2010) estudaram a utilização desses resíduos para produção de biodiesel, obtiveram resultados muito semelhantes ao diesel e com a vantagem de reduzir a emissão de compostos de enxofre durante a etapa de combustão e ainda melhorar a qualidade dos efluentes de laticínios.

Outra alternativa sugerida neste estudo, seria a retirada periódica da gordura para incorporação em outros produtos, como sabão ou ração. Maciel *et al.*, (2010), estudaram a fabricação de sabão a partir da gordura presente em efluentes de laticínios, como forma de educação e conscientização ambiental. Para tanto, os resíduos de gordura foram retirados de uma caixa de gordura de uma indústria de laticínios, a gordura foi aquecida na presença de NaOH, obtendo-se uma reação química de hidrólise básica de um tri éster de ácidos graxos e glicerol, que produz o sabão, sendo denominada saponificação. Os autores observaram um grande potencial para aplicação da gordura de efluentes de laticínios para produção de sabão.

#### 5.2.2.3 Tanque de Equalização

O tanque de equalização (Figura 11) tem por finalidade estabilizar o pH do efluente que ora pode ser ácido ora básico (dependendo do produto utilizado na lavagem dos caminhões), também faz a homogeneização da vazão e da concentração do efluente, evitando choques hidráulicos e de concentração (carga orgânica constante) e garante alimentação contínua.

Figura 11- Tanque de estabilização do tratamento de efluente da unidade



Fonte: O autor

Se o tanque de equalização estiver funcionando adequadamente, a água residuária que aflui de forma variável pode ser enviada às próximas etapas do sistema de tratamento de maneira constante, com o devido controle das vazões afluentes e efluentes (SPERLING, 2005). Os tanques de equalização podem ser necessários aos sistemas de tratamento de laticínios pelo fato de que a vazão de efluente gerada tem considerável variação ao longo do dia (KONIG, 2000).

Em termos de equalização, foram realizadas medidas de pH, três vezes ao dia, no início, no intervalo e ao término das atividades, as quais oscilaram no decorrer de uma semana, entre 6,7 e 7,2, indicam que neste quesito, o mesmo está atuando eficientemente.

Em relação ao tanque de equalização, o mesmo apresenta uma espessa camada de gordura em sua superfície comprovando a ineficiência da etapa vinculada à caixa de gordura. Esta camada de gordura se chegar ao processo biológico irá prejudicar a eficiência do mesmo.

Esses tanques devem impedir a decomposição anaeróbia e a consequente liberação de odores oriundos da formação do  $H_2S$  e a sedimentação de sólidos, porém é observada a

inexistência de homogeneizadores, proporcionando um acúmulo significativo de lodo no fundo do mesmo. Cabe ressaltar que desde sua concepção o mesmo nunca foi submetido a uma etapa de limpeza. Para tal, poderiam ser utilizados misturadores superficiais, com o intuito de aumentar a difusão de oxigênio atmosférico na massa de efluente e prover agitação necessária para evitar a sedimentação no fundo do tanque. Do tanque de equalização, através de uma bomba o efluente é encaminhado ao flotador (Figura 12).

#### 5.2.2.4 Flotador

O flotador está disposto no sistema com uma configuração de remoção de gordura através de pás por um sistema giratório, em que a gordura removida do processo é depositada em uma caixa paralela (Figura 12).

Figura 12- Flotador do sistema de tratamento de efluente da unidade



Fonte: O autor

De acordo com Sperling (2005) o flotador deve possibilitar a remoção da matéria orgânica floculável entre 30 a 50% dos sólidos em suspensão, bem como das gorduras. A remoção ocorre pela raspagem da espuma que flutua na superfície do mesmo. Caso o processo estivesse funcionando adequadamente, o mesmo deveria apresentar uma eficiência de remoção de 60% de sólidos suspensos e de 35 % de DBO.

Durante a análise do sistema em funcionamento, ou seja, com as pás em movimento, constatou-se que as mesmas se movimentavam acima do material flotado (gordura), ou seja, não cumpriam seu papel de remoção, tornando o processo, além de ineficiente oneroso

economicamente em função do consumo energético. A inexistência de um processo de aeração, também dificulta a flotação do material orgânico com densidade similar à da água, como alguns sólidos em suspensão, contribuindo assim para a ineficiência do processo.

Acoplado ao flotador há um sistema que possibilita a realização de purga do lodo gerado por decantação (Figura 13), indicando que o mesmo pode atuar concomitantemente como flotador e decantador.

Figura 13- Sistema de coleta do material flotado e sistema de purga para lodo decantado



Fonte: O autor

No entanto durante o período de avaliação, bem como mediante relatos dos funcionários, esta etapa de purga nunca foi utilizada, fato este que justifica os resultados da caracterização que demonstram um aumento na concentração dos sólidos, antagônica a função desta etapa.

#### 5.2.2.5 Lagoa aeróbia

Após o flotador, o efluente é encaminhado para uma etapa de tratamento secundário (biológico), que deveria ser de polimento final, baseado no emprego de uma lagoa aeróbica (Figura 14).

Figura 14- Lagoa aeróbica do sistema de tratamento de efluente da unidade



Fonte: O autor

A lagoa aeróbica é utilizada como tratamento secundário, com o emprego de culturas microbiológicas e objetiva a remoção de matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário.

Os sistemas de tratamento secundário, envolvendo processos biológicos, são muito utilizados para tratamento de efluentes de indústrias de laticínios, em virtude da grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, presente em sua composição. Os processos biológicos mais citados na literatura especializada e encontrados em estações de tratamento em escala real são: filtro anaeróbio, filtro biológico, lagoas de estabilização, lodos ativados convencional e reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (MACHADO *et al.*, 2001).

No entanto, os resultados apresentados na caracterização do efluente indicam que a mesma é ineficiente, mesmo o processo fazendo uso periódico de ativadores biológicos, pois não apresenta redução dos parâmetros avaliados quando comparados os valores obtidos na entrada e na saída da mesma (Tabela 5).

Esta ineficiência provavelmente esteja relacionada com a elevada carga de material particulado, matéria orgânica, gordura e nutrientes do efluente que chega até a mesma

(consequência da ineficiência das etapas anteriores), sobrecarregando o sistema biológico, cujo lodo nunca foi substituído/limpo, indicando que o mesmo não esteja mais ativo.

De acordo com Scarassati *et al.* (2003), que discorreram sobre a qualidade de um efluente de frigoríficos utilizando uma lagoa aerada, para a mesma ser empregada eficientemente, a qualidade do efluente não deve possuir um elevado teor de sólidos suspensos, pois, a referida lagoa não conseguirá ser eficiente na remoção de poluentes da forma como foi concebida. Por essa razão em laticínios e frigoríficos se utiliza lagoas aeradas em série como forma de otimizar o tratamento.

Em um contexto mais amplo, observa-se através desta avaliação, a presença de inúmeras irregularidades no sistema, com falhas estruturais (estruturas corrompidas), de projeto (ausência de uma etapa físico-química), de funcionamento (sistema funcionando sem eficiência e ausência de uma rotina de limpeza) e, principalmente de gestão (não havia acompanhamento do responsável nem orientação aos subordinados), são responsáveis pela ineficiência do tratamento, que é corroborado pelos resultados apresentados pela caracterização do efluente antes e após tratamento.

Essa análise nos remete à necessidade de adequar o tratamento atual de forma que o efluente possa chegar à lagoa aeróbia com uma qualidade superior a que se encontra atualmente.

Além das proposições de melhorias em cada etapa, de acordo com as deficiências visualizadas, o estudo prevê a implementação de um tratamento físico-químico, para tanto será apresentado a seguir os testes realizados com diferentes coagulantes, avaliando a eficiência de remoção dos seguintes parâmetros: cor, turbidez e DQO, correlacionando melhor custo benefício.

### 5.2.3 Avaliação do Sistema Físico-Químico

A aplicação de coagulantes caracteriza uma etapa importante no processo de tratamento, uma vez que tais produtos relacionam-se diretamente com a remoção de material orgânico em suspensão, ou seja, do aspecto turvo característico desse tipo de efluente.

Nos estudos preliminares, com o intuito de estudar diferentes coagulantes e avaliar sua eficiência no tratamento do efluente gerado pela empresa, foram testados: Tanino, Cloreto Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e Sulfato de Alumínio.

Como resposta acompanhou-se a remoção de turbidez associada a uma interpretação visual. A Figura 15 mostra os resultados dos testes realizados com os diferentes coagulantes

em relação à aparência (cor e turbidez). Para o ensaio foram utilizados 200 mL do efluente e decantados por 25 minutos.

Figura 15- Teste com diferentes agentes flocculantes para avaliação da eficiência na redução de turbidez: A) Tanino (0,5%), B) Sulfato de Alumínio (1%), C) Cloreto Férrico (1%) e D) Policloreto de alumínio (PAC) + Gel Flocc® (0,9/0,4).



Fonte: O autor

Pode-se observar que dos três coagulantes testados o sulfato de alumínio, apesar de ser um agente flocculante muito utilizado, não funcionou da maneira que esperávamos, ou seja, proporcionou uma coagulação ineficiente, apresentando após o processo, sólidos em suspensão, indicado pela turbidez do mesmo.

O sulfato de alumínio é um dos coagulantes mais utilizados no tratamento de resíduos, por apresentar uma relação custo benefício satisfatória, porém nas condições estudadas não se obteve bons resultados e ainda apresenta como limitante o fato de não ser biodegradável (PARMAR *et al.*, 2011).

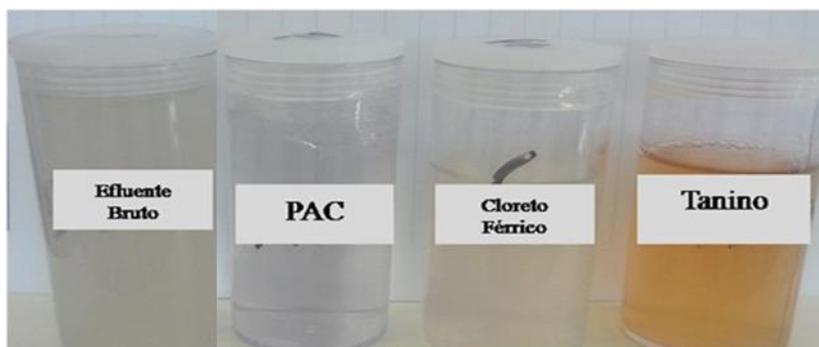
Além disso, existem vários estudos que evidenciaram a ligação entre o alumínio presente na água e múltiplas doenças neurológicas, como Parkinson e Alzheimer (BAKAR *et al.*, 2010).

Considerando que o íon alumínio ( $Al^{3+}$ ) é um dos agentes flocculantes mais empregado para tratamentos primários, realizou-se um novo ensaio, substituindo o Sulfato de Alumínio pelo Policloreto de Alumínio (PAC). O PAC contém em sua formação de 10 a 25% de  $Al_2O_3$ , considerado o ingrediente ativo.

Para desenvolvimento do estudo o PAC foi empregado de forma associada com um polímero catiônico, a Poliácridamida, conhecido comercialmente como Gel Flocc®.

Dos flocculantes testados, o sistema consorciado PAC/Gel Flocc® (Figura 16) foi o que demonstrou melhor eficiência entre eles e em relação ao efluente bruto, apresentando após a etapa de decantação um sobrenadante límpido e um decantado (lodo) compacto.

Figura 16- Alíquota dos sobrenadantes para os três coagulantes testados, após etapa de decantação e separação do lodo



Fonte: O autor

A eficiência dos coagulantes foi avaliada através da análise dos resultados de turbidez apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Resultados de turbidez para as amostras de efluente bruto e tratado por diferentes agentes físico-químicos

Amostra	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Bruto	565	---
Cloreto férrico	80	85,8
PAC + GelFloc <sup>®</sup>	7	98,7
Tanino	106	81,2

Fonte: O autor

Em termos de eficiência, observou-se 98,7% de remoção para o sistema PAC/GelFloc<sup>®</sup>, 85,8% para o cloreto férrico e 81,2% para o tanino.

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.

Neste contexto, os resultados estão coerentes com a literatura, segundo a qual o PAC, principalmente pela sua pureza e sua capacidade de floculação, oferece algumas vantagens técnicas sobre os coagulantes tradicionalmente usados, tais como: capacidade de flocular em uma ampla faixa de pH, apresentar maior eficiência em comparação ao sulfato de alumínio na remoção de coloides, pois forma flocos grandes, rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação, removendo eficientemente a carga orgânica/inorgânica do líquido a ser tratado, permite fácil manuseio, estocagem e aplicação, apresenta baixo custo, além de gerar menor

resíduo de alumínio no produto final (CONSTANTINO; YAMAMURA, 2009, FONSECA *et al.*, 2010).

Pode estar contribuindo para este melhor resultado observado para o ensaio conduzido com PAC, o emprego coadjuvante do polímero GelFloc<sup>®</sup>, o qual atua como um auxiliar de floculação, cuja principal finalidade é tornar o floco mais denso, facilitando sua decantação, tornando o líquido mais límpido e assim, reduzindo a turbidez do meio (MAGACHO *et al.*, 2009).

Após os ensaios preliminares, para cada coagulante foi realizado um estudo de otimização em relação às quantidades a serem empregadas.

### 5.2.3.1 Otimização da Concentração dos Coagulantes

As concentrações testadas para os três coagulantes: Tanino, cloreto férrico e PAC - Gel Floc<sup>®</sup>, bem como as respostas acompanhadas, cor e turbidez são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7- Resultados dos testes com diferentes concentrações para os três coagulantes: Tanino, Cloreto férrico e PAC - Gel Floc<sup>®</sup>

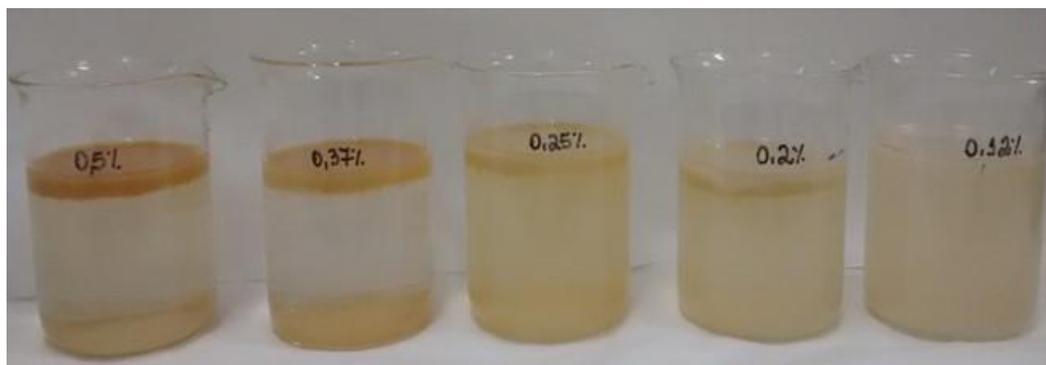
FLOCULANTE % (M/V)	VOLUME (mL)	CONCENTRAÇÃO (%)	TEMPO (min)	COR (uH)	TURBIDEZ (NTU)
Solução de cloreto férrico a 10%	1	0,5	1	49	7
	0,75	0,375	1	78	10
	0,5	0,25	1	95	12
	0,4	0,2	1	176	17
	0,25	0,12	1	350	36
Solução Comercial Tanino	0,2	0,1	1	295	49
	0,1	0,05	1	106	13
	0,05	0,025	1	46	5
	0,04	0,02	1	52	7
	0,02	0,01	1	123	13
	0,01	0,005	1	486	67
PAC 10% + Gel Floc <sup>®</sup>	2 / 1	1 / 0,5	1	16	0
	1,8 / 0,8	0,9 / 0,4	1 / 0,4	7	0
	1,5 / 0,5	0,75 / 0,25	1 / 0,4	24	9
	1,2 / 0,5	0,6 / 0,25	1 / 0,4	32	1
	1 / 0,5	0,5 / 0,25	1 / 0,4	519	69

Fonte: O autor

Para o cloreto férrico observa-se uma tendência de diminuição, tanto da cor quanto da turbidez com o aumento da concentração deste flocculante, com o ensaio conduzido com a maior concentração testada, ou seja, equivalente a 0,5 %, apresentando os menores valores de cor (49 uH) e turbidez (7 NTU), os quais corresponde a reduções de 92,7% e 98,7%, respectivamente.

Os resultados para cada concentração avaliada podem ser visualizados na Figura 17.

Figura 17- Ensaio com diferentes concentrações de Cloreto Férrico para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez



Fonte: O autor

Além do nítido aumento da limpidez do sobrenadante com o aumento da concentração do cloreto férrico, outra característica observada é que tanto a flotação (em maior proporção), quanto a decantação se manifestam no processo.

Em relação aos demais sistemas, onde se avaliou o tanino e o PAC/GelFloc<sup>®</sup> como coagulante, observa-se uma tendência distinta a do cloreto férrico, com os melhores resultados (maiores remoções) sendo observado para concentrações intermediárias testadas destes coagulantes.

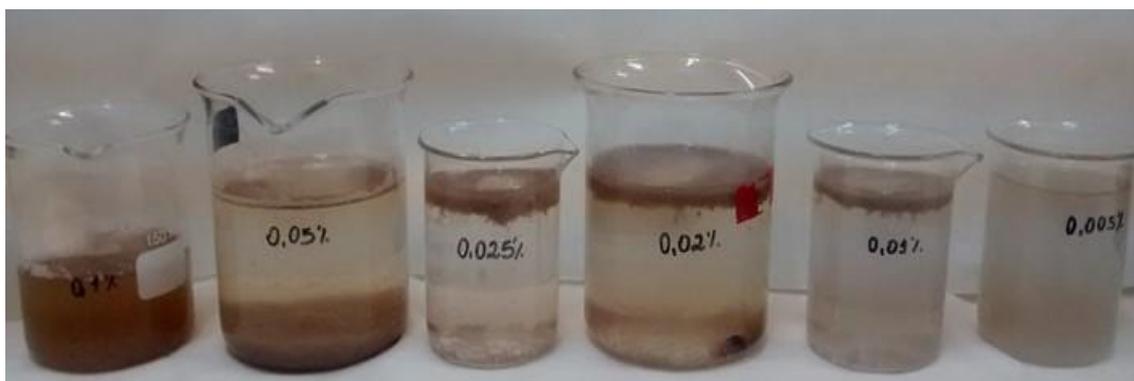
Para o Tanino, os melhores resultados foram observados para a concentração de 0,025%, apresentando para a cor 46 uH e para a Turbidez 5 NTU, o que corresponde a remoções de 93,2% e 99,1%, respectivamente. O sistema de tratamento físico-químico de coagulação, floculação e sedimentação com coagulantes naturais, como o tanino, vem sendo estudado no tratamento de diferentes tipos de efluentes. Os taninos atuam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre estas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (GRAHAM *et al.*, 2008).

Vários estudos utilizando tanino vegetal têm mostrado que este coagulante possui propriedades efetivas e não tóxicas aos seres humanos e animais (VIVE *et al.*, 2013). Soares e colaboradores (2016), realizaram testes com diferentes concentrações de Tanino para a clarificação de efluentes de frigorífico e determinaram que a melhor concentração também foi a de 0,025%.

Para o sistema PAC/GelFloc<sup>®</sup>, os melhores resultados foram observados para as concentrações de PAC e GelFloc<sup>®</sup> de 0,9 e 0,4%, respectivamente, apresentando para a cor 7uH e ausência de turbidez (0 NTU). A condição empregando 0,6 e 0,25% de PAC/Gel Floc<sup>®</sup> respectivamente, também apresenta resultados promissores, que em uma análise de custo poderiam ser considerados.

Os resultados para cada concentração avaliada para os ensaios empregando Tanino e PAC/GelFloc<sup>®</sup> podem ser visualizados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

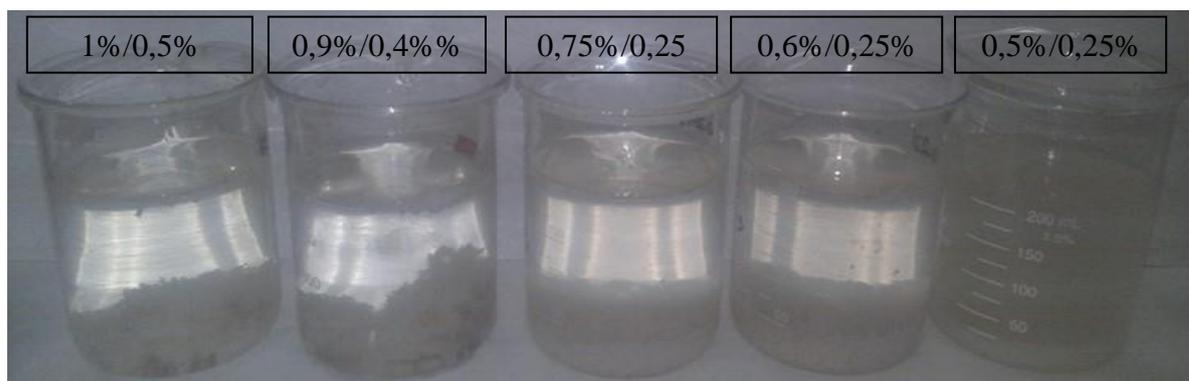
Figura 18- Ensaio com diferentes concentrações de Tanino para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez.



Fonte: O autor

Para o Tanino observa-se um comportamento distinto do material floculado em termos de deslocamento em função da concentração. Para concentrações até 0,025% a tendência é de flotação, acima desta concentração, ou seja, 0,05 e 0,1% observa-se uma inversão de tendência, com uma predominância de decantação.

Figura 19- Ensaio com diferentes concentrações de PAC-Gel Floc® para verificar a melhor condição para remoção de cor e turbidez



Fonte: O autor

Para o sistema PAC/GelFloc® todas as condições apresentaram uma mesma tendência em termos de deslocamento do material coagulado/floculado, com uma distribuição do mesmo entre as extremidades superior (flotado) e inferior (decantado) do recipiente.

Com as amostras que apresentaram os melhores resultados de remoção de cor e turbidez para cada coagulante avaliado foi conduzido uma análise de DQO, uma vez que este é um dos principais parâmetros empregados para a caracterização de efluentes. Os resultados obtidos para as respostas cor, turbidez e DQO para a melhor condição de cada coagulante encontram-se apresentados na Tabela 8.

Tabela 8- Resultados de remoção de DQO, Cor e Turbidez para os três coagulantes utilizados na melhor concentração.

Coagulante	Cor		Turbidez		DQO	
	uH	Remoção (%)	NTU	Remoção (%)	(mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção (%)
Efluente Bruto	675,8	--	565	--	1.450,0	--
PAC	7	98,9	0	100,0	400,0	72,4
FeCl <sub>3</sub>	49	92,7	7	98,7	612,5	57,7
Tanino	46	93,2	5	99,1	350,0	75,8

Fonte: o autor

Para a DQO observa-se uma redução superior a 50% para os três coagulantes. Destes, destacam-se o sistema PAC/GelFloc® e o Tanino, com remoções de 72,4% e 75,8%, respectivamente. Cabe destacar que para ambos os sistemas o efluente pós-tratamento, com

valores de DQO de 350 mg.L<sup>-1</sup> para o Tanino e 400,0 mg.L<sup>-1</sup> para o PAC/GelFloc<sup>®</sup>, encontram-se abaixo ou igual aos valores recomendados pela legislação ambiental (CONSEMA, resolução 128/2006), que é de 400 mg.L<sup>-1</sup>, permitindo assim seu descarte em corpos receptores no que se refere a este parâmetro, sem a necessidade do tratamento biológico.

Além da maior remoção de DQO entre os três sistemas avaliados, os coagulantes naturais à base de tanino apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis, e ainda produzir em lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (KAWAMURA, 2011). No entanto seu custo, superior ao dos coagulantes químicos, muitas vezes inviabiliza sua aplicação em escala comercial. No caso específico, considerando o volume a ser tratado (600 m<sup>3</sup>/mês), e as concentrações das condições otimizadas, o valor mensal que seria gasto empregando o Tanino (R\$ 1.494,00) é o dobro do observado para o emprego do sistema PAC/GelFloc<sup>®</sup> (R\$ 764,00).

Neste contexto, optou-se por um coagulante químico, no caso, considerando os resultados de remoção de DQO obtidos para os dois avaliados, pela continuidade dos estudos com o sistema PAC/GelFloc<sup>®</sup>, o qual é muito utilizado pelo meio industrial com este fim.

Outros autores também demonstraram a eficiência do PAC, Andrade (2015) conduziu um trabalho com o objetivo de realizar o tratamento do efluente de laticínio através das técnicas de coagulação/floculação/flotação/filtração, utilizando o coagulante *Moringa oleifera* e o coagulante químico policloreto de alumínio (PAC), comparando seus desempenhos. Por meio de ensaios o autor avaliou a eficiência dos tratamentos na remoção dos parâmetros pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, DQO e série de sólidos. Constatou-se que o coagulante químico teve forte influência sob o pH e a condutividade elétrica, ao contrário do coagulante natural. Para a DQO, o coagulante natural obteve 16,8% de remoção, 34,7% para cor aparente, 40,4% para turbidez e 92,8% para os sólidos voláteis. Já o PAC, obteve remoção de 90,5%, 90,85% e 72,3% para os mesmos parâmetros, sendo, de maneira geral, mais eficiente que a *Moringa oleifera*.

#### 5.2.3.2 Ensaio de Jar-Test para o sistema consorciado PAC/polímero

A floculação, operação complementar à coagulação, objetiva 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. Esses

polieletrólitos podem ser classificados quanto a sua natureza (mineral ou orgânica), quanto a sua origem {sintética ou natural (amidos, derivados de celulose, etc.)} e quanto a sua carga elétrica (aniônico, catiônico ou não iônico) (CASTRO *et al.*, 2012).

Neste contexto foram realizados ensaios em Jar-Test com diferentes polímeros (Gel Flocc<sup>®</sup>), um catiônico (5020) e dois aniônicos (4040 e 4030), para avaliar se os mesmos irão interferir na formação de flocos. Todos os ensaios (3) foram realizados empregando 0,9% de PAC e 0,4% de polímero. A imagem dos três ensaios logo após a etapa de homogeneização do polímero, ou seja, 1 minuto, é apresentada na Figura 20.

Figura 20- Foto dos ensaios de Jar-test com os três polímeros (0,4%) utilizando o PAC na melhor concentração (0,9%) logo após o término da reação de adição dos polímeros, durante 1 minuto



Fonte: O autor

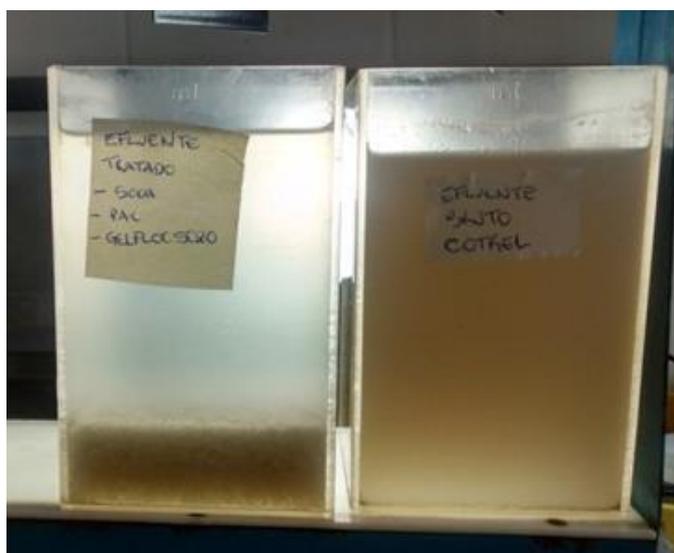
Como se pode observar, principalmente pelas diferenças de luminosidade e de material decantado, dos três polímeros avaliados, o único que conduziu a geração de flocos durante o ensaio foi o polímero catiônico (5020). Para este ensaio observa-se uma maior luminosidade, indicando que houve remoção de material particulado do meio, consequência da coagulação/floculação. Corrobora com este resultado a grande quantidade de material decantado observado no fundo do recipiente, o qual é praticamente inexistente nos ensaios conduzidos com os polímeros aniônicos (4040 e 4030).

Esta tendência foi vinculada a sua característica catiônica, ou seja, possui cargas positivas em sua superfície, as quais, diferentemente das cargas negativas dos polímeros aniônicos, apresentam afinidade (atração) por cargas negativas, normalmente presentes em maior quantidade nas moléculas orgânicas que atuam como contaminante nos efluentes de origem láctea, com álcoois (açúcares como a lactose), ácidos carboxílicos (vinculados as

gordura ou a processos oxidativos de outras moléculas orgânicas) e grupos sulfônicos presentes nos detergentes empregados na etapa de limpeza, cujo princípio ativo normalmente é o dodecilsulfato de sódio.

Para uma melhor visualização do resultado relacionado ao ensaio com o polímero catiônico foi realizada uma nova foto após 25 minutos de decantação e comparada com o efluente bruto (Figura 21).

Figura 21- Comparativo entre o efluente tratado com PAC-Gel Floc® 5020 após 25 minutos de decantação e o efluente bruto



Fonte: O autor

Na foto da Figura 21 é nítida a eficiência visual do emprego do sistema PAC/GelFloc® na remoção de material orgânico em suspensão mediante coagulação/floculação seguido de decantação.

Outros autores também encontraram bons resultados na remoção de cor, turbidez e DQO, utilizando PAC como coagulante e um polímero catiônico como auxiliar na flotação, Quartaroli *et al.*(2014) utilizaram um efluente de uma indústria de papel e celulose para avaliar a aplicação de polímeros aniônicos e catiônicos, sendo observada melhor eficiência utilizando um polímero catiônico, com redução de 90% de turbidez, 85% da cor aparente, 89% de cor verdadeira e 69% de DQO, utilizando dosagem de PAC de 175 mg.L<sup>-1</sup> e de polímero catiônico de 50 mg.L<sup>-1</sup>.

Para avaliar matematicamente a magnitude desta eficiência, a amostra tratada (sobrenadante) foi submetida à análise de DBO e DQO, cujos resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9- Análise de DQO e DBO comparando o efluente bruto e o tratado com PAC – Gel Floc®

Análises	Efluente (mg.L <sup>-1</sup> )		
	Bruto	Tratado	% de Remoção
DQO	1622,1	712,8	56,1
DBO	1220	630	48,4

Fonte: O autor.

Para ambos os parâmetros avaliados observa-se, em relação ao efluente bruto, uma redução de aproximadamente 50%, essa redução está inferior aos 72% (para a DQO) observado nos ensaios preliminares, essa variação é observada principalmente pela alteração da amostra, uma vez que foram coletadas em momentos diferentes.

Apesar da redução para ambos os parâmetros, os valores finais (630,0 mg.L<sup>-1</sup> para DBO e 712,8 mg.L<sup>-1</sup> para a DQO) dos mesmos estão acima dos padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes, de acordo com a Resolução CONSEMA 128/2006 para emissão de efluentes líquidos lançados em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul que preconiza DBO de até 180 mg.L<sup>-1</sup> e DQO de até 400 mg.L<sup>-1</sup>, e Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que preconiza remoção mínima de DBO de 60% e sem padrões estabelecidos para DQO.

Apesar da redução para os parâmetros DQO e DBO não atender os padrões pré-estabelecidos pelas Portarias vigentes, salienta-se que a mesma é considerável e que este resultado se refere apenas ao emprego do tratamento primário e possibilitou melhora da qualidade do efluente que chega na lagoa. Estima-se que o tratamento biológico seja suficiente na complementação da remoção da DQO e DBO para obtenção de um efluente dentro dos limites estabelecidos na referida portaria.

Caso fosse implementado, para aproveitar a estrutura já existente na empresa, o tratamento primário empregando PAC/GelFloc® deveria ser inserido após o tanque de equalização, mais especificamente na tubulação que conduz o efluente ao flotador. Tubulação esta que se comportará como um reator, onde as reações vinculadas a correção de pH, coagulação e flotação, irão ocorrer de forma sequencial, mediante a injeção, com dosadores automáticos, de hidróxido de sódio, PAC e GelFloc® (auxiliar de floculação), respectivamente.

A vazão diária entre equalizador e flotador é de  $9.000 \text{ L.h}^{-1}$  e o volume diário alcança no máximo  $20.000 \text{ L}$ , o que dá um tempo de funcionamento de  $2\text{h}13\text{min}$  de transferência do efluente entre um tanque e outro.

A tubulação apresenta comprimento de  $157 \text{ m}$ , permitindo uma boa distribuição sequencial dos reagentes responsáveis pela correção do pH, coagulação e floculação. Sugere-se implementar no início da tubulação um medidor e corretor de pH, o qual prevê um dosador de NaOH para correção do pH para  $9,0$ . Na sequência sugere-se a instalação de um dosador de PAC, e anterior à entrada no flotador, quase no final da tubulação, a instalação do dosador do auxiliar de floculação, ou seja, do polímero catiônico.

Para auxiliar na flotação, sugere-se a instalação na parte final do tanque, referente ao lado oposto da entrada no efluente, a instalação de um sistema de injeção de ar ascendente no fundo do mesmo, melhorando assim a eficiência do processo referente à remoção da carga poluidora do efluente, como a visualizada nos ensaios em batelada realizados em escala reduzida no laboratório, proporcionando a geração de um efluente com menor concentração de sólidos, adequando o mesmo para o tratamento seguinte a ser realizado pela lagoa aerada.

No caso da lagoa, após estabilização do tratamento proposto, deverá ser avaliada a eficiência da mesma na escala industrial e, se houver necessidade deverão ser realizados estudos específicos de redimensionamento e determinação do tempo de retenção hidráulica (TRH), conforme Kellner e Pires (2000), e, caso necessário, substituição mesma.

De forma genérica, após análise dos resultados relacionados ao sistema de tratamento de efluentes, este trabalho propõe algumas alterações nas instalações existentes, como consertos nas etapas existentes, e agregação de um processo de tratamento primário, baseado no emprego consorciado do agente coagulante PAC e do auxiliar de floculação GelFloc<sup>®</sup>, após o tanque de equalização, que poderão surtir efeito no desempenho do processo em termos de eficiência, proporcionando a geração de um efluente com uma carga orgânica compatível com o tratamento biológico.

## 6 CONCLUSÕES

Após análise dos resultados e uma avaliação detalhada do sistema de tratamento e de sua gestão conclui-se que:

- O sistema de gerenciamento adotado para o descarte dos resíduos gerados no laboratório, o qual consiste em armazenar todos os resíduos em um único recipiente está gerando um custo desnecessário com seu tratamento ou quando armazenado na própria empresa, um passivo ambiental.
- O emprego de uma etapa de segregação prévia, considerando as características de cada resíduo permitiria uma redução significativa no volume de resíduos Classe I, que deveriam ser encaminhados para tratamento externos, acarretando em uma redução de custos superior a 85%, possibilitando nos valores atuais uma economia de aproximadamente R\$ 30.000,00 ao ano.
- A caracterização físico-química do efluente líquido nas diferentes etapas do processo de tratamento adotado pela empresa demonstrou que o sistema não é eficiente, pois apresenta um efluente pós-tratamento com todos os parâmetros acima dos pré-estabelecidos pela legislação vigente. Além disto, observa-se deficiência em todas as etapas do processo.
- Esta falta de eficiência foi vinculada a problemas estruturais observados no sistema, ausência de manutenção, deficiência na gestão e, principalmente a ausência do emprego de uma etapa de coagulação no tratamento primário, destinado à agregação/remoção de carga orgânica floculável, previamente ao tratamento secundário que a empresa adota atualmente (lagoa aerada).
- Ensaio de bancada demonstraram que mediante o emprego associativo do PAC/GeIFloc<sup>®</sup> (polímero catiônico) como coagulante é possível obter uma redução de aproximadamente 50% de DQO e DBO, ou seja, uma remoção considerável de matéria orgânica, contribuindo desta forma para um melhor desempenho do tratamento biológico.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados obtidos, e tendo em vista a possibilidade de otimização em diversos estágios sugere-se:

- Realizar a manutenção no sistema atual e otimizar o mesmo, avaliando sua eficiência;
- Avaliação da eficiência da injeção de ar na etapa de flotação, analisar os parâmetros de disposição dos pontos de dispersão de ar, agitação e pressão;
- Avaliar a eficiência total do tratamento após implementação do tratamento físico-químico verificando a necessidade de redimensionamento da lagoa aeróbia, cálculo de tempo de detenção, avaliação de diferentes culturas no tratamento biológico;
- Testar sistema de polimento ou tratamento terciário, por exemplo, sistema wetlands;
- Realizar estudo da aplicação da gordura segregada na etapa primária em um subproduto, por exemplo, sabão, ração, biocombustível.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Disponível em: <<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 10/12/2016.

ABRAHÃO, S.S. **Tratamento de água residuária de laticínios em sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2006.

ALVES, L. C.; CAMMAROTA, M., C. Inibição de Lodo Biológico Anaeróbico por Constituintes de Efluente de Laboratório de Controle de Poluição. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.10, n.03, p. 236-242, 2005.

ANDRADE, A., H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando reuso**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. S.; CERQUEIRA, N.; ESPINDOLA, J. C. A.; AMARAL, M. C. S. Distribuição de massa molar em um biorreator com membrana para tratamento de efluente de laticínios. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 325-334. 2014.

ANDREOLLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). 2001.

AZZOLINI, J. C.; FABRO, L., F. Monitoramento da Eficiência do Sistema de Tratamento de Efluentes de um Laticínio da região Meio-Oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciência – ACET**, v.4, n.1, p.43-60, 2013.

BALANNEC, B.; GUIZIOU, G., CHAUFER, B.; BAUDRY, M. R.; DAUFIN, G. Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse e milk constituents concentration. **Desalination**, v. 147, p.89-94, 2002.

BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BETRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 351-362. 2016.

BENAZZI, T. **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da URI. Erechim, RS. 2013.

BORSATO, D.; MOREIRA, I.; PINTO, J. P.; MOREIRA, M. B.; NOBREGA, M. M.; CONSTANTINO, L. V. Análise físico química de diesel interior em mistura de biodiesel. **Revista Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n. 2, p.187-192, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Cidades sustentáveis**: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira. Brasília: MMA, 2000.

BRASIL. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 128, de 07 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial da União. **Diário Oficial da União**. 07 dez. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**. 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa 62, de 29 de dezembro de 2011. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Produção, Identidade e Qualidade do Leite tipo A, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Cru Refrigerado, o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leite Pasteurizado e o Regulamento Técnico da Coleta de Leite Cru Refrigerado e seu Transporte a Granel. **Diário Oficial da União**. 29 dez. 2011.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa oleífera Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 96p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

CAMPOS, K. C.; PIACENTINI, C. A. Agronegócio do leite: cenário atual e perspectivas. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, v. 22, p. 1-18, 2007.

CASTRO, A. P.; YAMASHITA, F.; SILVA, S. M. C. P. Adição de polieletrólito ao processo de floculação no pós tratamento de lixiviado por coagulação-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n, 1, p. 25-32. 2012.

CONSTANTINO, A. F.; YAKAMURA, V. D. Redução do Gasto Operacional em Estação de Tratamento de Água utilizando PAC . **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Agrícola**, v.66, n. 2, p. 34-41. 2009.

COUTO, H. J. B.; MELO, M. V.; MASSARANI, G. Treatment of Milk industry effluent by dissolved air flotation. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 21, n. 01, p. 83-91, 2004.

DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. In: **Associação Brasileira de engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**. 481 p. Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª edição: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora LDiBe, 540 p. 9-10, 2012.

FAO. 2012. **Milk availability**: Trends in production and demand and medium-term outlook, Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/015/an450e/an450e00.pdf>> Acesso em: 23 de fevereiro de 2017.

FERNANDES, V.G.; MARICATO, E. Análises físico químicas de amostras de leite cru de um laticínios em Bicas –MG. **Revista Institucional Laticínios “Cândido Tostes”**, v. 65, n. 375, p. 3-10, 2010.

FYPE, J.; HAGARE, D.; SIVAKUMAR, M. Dairy shed effluent treatment and recycling: effluent characteristics and performance. **Journal of Environmental Management**, v.180, p. 133-146, 2016.

GRAHAM, N., GANG, F.; FOWLER, G.; WATTS, M. Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: a preliminary assessment. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008.

KONIG, A., LIMA, L.M.M., CEBALLOS, B.S.O. Comportamento das águas residuárias brutas e tratadas provenientes de uma indústria de laticínios durante um dia de funcionamento. In: **XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. p.1-7.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOSEM ECONOMIA APLICADA – Departamento de Economia, Administração e Sociologia. USP – Universidade De São Paulo CEPEA-USP 2016. Disponível em: <[www.cepea.esalq.usp.br](http://www.cepea.esalq.usp.br)>.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal de 2014**. Estatística da Produção Pecuária, 2015. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201404\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201404_publ_completa.pdf)> Acesso em: 27 de janeiro de 2017.

LIMA, R. G. C.; FERREIRA, O. M. Resíduos Industriais – Métodos de Tratamento e Análise de Custos. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/114960/000955779.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

MACIEL, F. P.; SIMONATTO R. M.; BRONDANI, F. M. M.; ALVES-SOUZA, R. A.; ZAN, R. A. Fabricação de sabão a partir da gordura presente em efluentes de laticínios, uma forma de educação e conscientização ambiental. **Congresso Brasileiro de Química**, 2010.

MACHADO, R. M. G.; SILVA, P. C.; FREIRE, V. H. Controle ambiental em indústrias de laticínios. **Brasil Alimentos**, v. 4, n. 6, p. 34-36, 2001.

MAGACHO, A. L. F. **Avaliação de técnicas de separação combinadas para a purificação de xilose visando à obtenção de bioprodutos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação Engenharia Química da Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

- MALHEIROS, T.F.; PHILIPPI Jr., A. Saneamento e Saúde Pública: Integrando o homem e ambiente. In: **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. PHILIPPI Jr., A. (editor). Barueri, SP. Manole. Cap1. p.4-31, 2005.
- MENDES, A., A.; CATRO, H., F.; PEREIRA, E., B.; FURIGO JÚNIOR, A. Aplicação de lípases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 296-305, 2005.
- MENDES, R., R.; BERTELLI, M., B.; JÚNIOR, W., R., A., W., S.; RAMOS, V., O. Uso de Complexo Enzimático no Tratamento de Efluentes com Alta Concentração de Óleos e Graxas. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p.123-132, 2015.
- METCALF & EDDY. **Wasterwater Engineering Treatment and Reuse**. 4<sup>th</sup> edition, 2011.
- NIEDERLE, P. A.; SCHUBERT, M., N.; SCHNEIDER, S. Agricultura familiar, desenvolvimento rural e um modelo de mercados múltiplos. In: **Agricultura familiar face das transformações na dinâmica recente dos mercados**. 1 ed. Viçosa: Suprema, v.1, p. 43-68. 2014.
- NIEDERLE, P. A. Delimitando as fronteiras entre mercados convencionais e alternativos para a agricultura familiar. **Extensão Rural**, v. 16, p. 5-38, 2009.
- OLIVEIRA, A. B. M., ORRICO, A. C. A., ORRICO JÚNIOR, M. A. P., SUNADA, N. S., CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.
- OLIVEIRA, L. F. T.; SILVA, S. P. Mudanças Institucionais e Produção Familiar na Cadeia Produtiva do Leite no Oeste Catarinense. **RESR**, v. 50, n. 4, p. 705-720. 2012.
- PARMAR, K. A.; PRAJAPATI, S.; PATEL, R.; DABHI, Y. Effective use of ferrous sulfate and alum as a coagulant in treatment of dairy industry wasterwater. **Journal of Enginnering and Applied Sciences**, v. 6, n. 9, p. 42-45, 2011.
- PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- PELEGRINO, E.C.F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. 155f. Dissertação Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.
- POKRYWIECKI, T. S.; GUMY, M. P.; TONIAL, I. B.; POKRYWIECKI, J.C. Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticínios. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 11, n.S1, p. 76-79. 2013.
- PUSPITA, P.; RODDICK, F.; PORTER, N. Efficiency of sequential ozone and UV-based treatments of the treatment of secondary effluent. **Chemical Engineering Journal**, v. 268, p. 337-347. 2015.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

QUARTAROLI, L.; KURITZA, J. C.; CAVALLINI, G. S.; VIDAL, C. M. S.; SOUZA, J. B. Aplicação de polímeros aniônico e catiônico na flotação por ar dissolvido como forma de pós tratamento de efluente de indústria de papel e celulose. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 101, p. 57-67. 2014.

RAMALHO, R. S. **Introduction to wastewater treatment processes**. 2.ed. New York: Academic Press, 1983, 580 pp.

SANTOS, A. S.; SILVA, S. R.; SANDRA, H. V. C.; SOLETTI, J.I. Tratamento de efluentes lácteos através de coagulação química e sedimentação. **Revista de Engenharia Química em Iniciação Científica**, v. 27, n. 4, p. 356-259. 2009.

SANTOS, A. R. L.; AQUINO, S. F.; CARVALHO, C. F.; VIEIRA, L. A.; GONTIJO, E. S.J. Caracterização e tratabilidade biológica dos efluentes líquidos gerados em cabines de pinturas de uma indústria moveleira. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15., n. 4, p. 357-366. 2010.

SANTOS, R. S. Estudo da Clarificação de água de abastecimento publico e otimização da estação de tratamento de água. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ. 2011.

SARKAR, B.; CHAKRABARTI, P. P.; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. Wasterwater treatment in dairy industries – possibility of reuse. **Desalination**, v.195, p.141-152. 2006.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F.; DELGADO, V.L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N.; TONSO, S.; DRAGONI SOBRINHO, G.; PELEGRINE, R. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. **Química Ambiental**, v.2, n.5, p. 23-35. 2003.

SHOW, K, Y.; LEE, D. J. Anaerobic treatment versus aeorobictreatment. In: **Biological Treatment of industrial effluents**. Elsevier: Amsterdam, 2017.

SILVA, F.K; EYNG, J. O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: um estudo comparativo entre métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 2, n. 2, p.1-21, 2012.

SILVA, C. M.; PORTO, C. A.; RODRIGUES, M. R.; SILVA, E. L.; ANJOS, R. H. Pré tratamento de efluente de laticínio visando a remoção da turbidez. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, 2016.

SOUSA, O .L.; SANTAELLA, S. T.; COSTA, K. O. Tratamento biológico de águas residuárias de indústria petroquímica através de reatores aeróbios inoculados com *Candida* sp. In: **Gestão e tratamento de resíduos líquidos gerados na cadeia produtiva do petróleo: 1ª coletânea de trabalhos técnicos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2006. p. 149-165.

SOUZA, G. S.; MACHADO, P. B.; REIS, V. R.; SANTOS, A.S.; DIAS, V. B. Educação ambiental como ferramenta para o manejo de resíduos sólidos no cotidiano escolar. **Rev bea**, v. 8, p. 118-130, 2013.

TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F.L., STENSEL, H.D., **Wastewater Engineering. Treatment and Reuse**, Mc Graw Hill Company, 3 ed. 2003.

TCHOBANOGLIOUS, G.T.; THEISEN, H.; VIGIL, S A. **Integrated solid waste management**: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill Book Company, 1993. 978 p.

TIKARIHA, A.; SAHU, O. Study of characteristics and treatments of dairy industry wastewater. **Journal of Applied & Environmental Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 16-22. 2014.

USTUN, G. E.; SOLMAZ, S. K. S.; ÇINER, F.; BASKAYA, H. S. Tertiary treatment of a secondary effluent by coupling of coagulation-flocculation-disinfection for irrigation reuse. **Desalination**, v.277, p. 207-212. 2011.

VAZ, L. G. L., KLEN, M. R. F., VEIT, M. T., SILVA, E. A., BARBIERO, T. A., BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VILLA, R., D.; SILVA, M. R.; NOGUEIRA, A.; PUPO, R. Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. **Química Nova**, São Paulo , v. 30, n. 8, p. 1799-1803, 2007.

VIVE, V. A.; RIZK, M. C.; ALMEIDA, P. M. A. Aplicação do Coagulante Tanino no Tratamento de Vinhaça em pH neutro. **Periódico eletrônico Fórum Ambiental**, v. 9, n. 11, p.569-574, 2013.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG.2005.

## 9 APÊNDICE

### 9.1 APÊNDICE A – METODOLOGIA DE ANÁLISES

#### MANUAL DE ANÁLISES – RECEBIMENTO LEITE CRU

##### **Ensaio: ALIZAROL**

**Princípio:** Baseia-se na estimativa da estabilidade térmica do leite em presença de solução alcoólica. Observa-se a ocorrência de coagulação por efeito da elevada acidez ou do desequilíbrio salino, quando se promove desestabilização das micelas pelo álcool. O alizarol atua como indicador de pH, auxiliando a diferenciação entre o desequilíbrio salino e acidez excessiva.

**Geração de resíduos:** Utiliza-se para a técnica partes iguais de alizarol e de leite (2 mL de cada), com geração mensal de resíduos de 8 litros.

##### **Ensaio: ACIDEZ**

**Princípio:** A determinação da acidez fornece dados sobre o estado de conservação do leite. O método baseia-se na neutralização por titulação com NaOH, usando fenolftaleína como indicador, possibilitando a determinação do volume de ácido láctico presente na amostra. A acidez do leite pode variar em função de fatores como raça do animal; proliferação bacteriana (fermentação da lactose), deficiência de refrigeração; estágio de lactação (o colostro possui acidez mais elevada); saúde do animal (mastite abaixa a acidez do leite); fraudes por aguagem e neutralizantes.

**Geração de resíduos:** Utiliza-se para a técnica 10 mL de leite, gotas de indicador fenolftaleína e em média 1,5 mL de NaOH para titulação, com geração mensal de resíduos de 19 litros.

##### **Ensaio: LIPÍDEOS - MÉTODO DE GERBER (BUTIRÔMETRO)**

**Princípio:** Baseia-se na separação e quantificação da gordura por meio de adição de ácido sulfúrico e álcool isoamílico. Para a determinação da gordura do leite, utiliza-se o ácido sulfúrico de densidade 1,825, a fim de romper a camada proteica que envolve as gotículas de gordura, diminuindo a viscosidade do meio, aumentando a densidade da fase aquosa e fundindo a gordura, devido à liberação de calor proveniente da reação, o que favorece a separação da gordura pelo extrator (álcool isoamílico). A leitura é realizada na escala graduada do butirômetro, após centrifugação e imersão em banho de água quente. O

álcool isoamílico de densidade 0,815 tem a função de evitar a espuma, separando a camada de gordura dos outros elementos e facilitando a leitura posterior, após centrifugação.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 10 mL ácido sulfúrico, 1 mL álcool isoamílico e 11 mL de leite, com geração mensal de 1,5 litros.

#### **Ensaio: REDUTASE**

**Princípio:** Constitui um método indireto bastante rápido para se ter uma ideia aproximada da qualidade bacteriológica do leite cru, apesar de nem sempre haver uma relação direta entre o tempo de redução do corante (azul de metileno) e o número de microrganismos presentes no leite, pois existem limitações como tipos de microrganismos presentes, temperatura do teste (37 °C), presença de inibidores, exposição à luz, etc.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 10 mL de leite e 0,17 mL de azul de metileno, com geração mensal de 11 litros.

#### **Ensaio: CMT - TESTE DA RAQUETE**

**Princípio:** A mastite é definida como uma inflamação de glândula mamária, com origem frequentemente bacteriana. CMT é a abreviação de "California Mastitis Test" que é considerado um dos testes mais simples e eficaz para o diagnóstico da mastite bovina. O reagente do CMT destrói os glóbulos brancos (leucócitos) existentes no leite e coagula sua proteína. Ao misturarmos o reagente ao leite, conforme a quantidade de glóbulos brancos existentes ocorre a variação do grau de coagulação. De acordo com este grau, verifica-se o estado da infecção.

**Geração de resíduos:** Utiliza-se para a técnica partes iguais de CMT e de leite (2 mL de cada), com geração mensal de resíduos de 2 litros.

#### **Ensaio: CLORETOS**

**Princípio:** A presença de cloretos no leite é antes uma modificação da composição química do leite do que uma fraude, sendo que esta se dá pela adição de cloretos (sal) como reconstituente de densidade, utilizado para mascarar a adição de água. Porém a detecção de cloretos geralmente está relacionada com a mistura de colostro ao leite e/ou problemas relacionados com mastite no rebanho. O leite com colostro implica em problemas tecnológicos e o leite de mastite causa também transtornos à saúde.

Os íons cloretos (presentes na amostra) reagem com nitrato de prata com formação de cloreto de prata. O excesso de nitrato de prata reage com o indicador para formar um precipitado de coloração marrom. Quando o teor de cloretos é normal no leite, a quantidade de nitrato de prata adicionada é excessiva, reagindo com o indicador para a produção de coloração marrom. Por outro lado, quando o teor de cloretos é elevado, há menor quantidade de prata disponível para reagir com o indicador e, como consequência, menor quantidade de precipitado é formada com diminuição da intensidade da coloração.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 10 mL de leite, 0,5 ml de Cromato de Potássio 5 % e 4,5 ml de Nitrato de Prata, com geração de resíduos de 16 litros.

### **Ensaio: ÁLCOOL ETÍLICO**

**Princípio:** Na presença de álcool etílico em meio ácido ocorre a redução do cromo<sup>+6</sup> a cromo<sup>+3</sup>, modificando a coloração da solução sulfocrômica. A adição fraudulenta de álcool é utilizada para mascarar a adição de água no produto. O álcool mantém a temperatura de congelamento do leite estável, fazendo com que não se constate a adição de água.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 2 mL de solução sulfocrômica (que é preparada a partir de ácido sulfúrico e dicromato de potássio), com geração de resíduo mensal de 2,2 litros.

### **Ensaio: AMIDO**

**Princípio:** A adição fraudulenta deste composto tem a finalidade de disfarçar a adição de água, pois corrige a densidade original do leite (efeito espessante). O aquecimento promove a abertura da cadeia helicoidal da molécula de amido, permitindo a adsorção do iodo à amilose. O complexo formado possui coloração azul característica após resfriamento.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 10 mL de leite e gotas de lugol, gerando um volume mensal de 11 litros de resíduos.

### **Ensaio: SACAROSE**

**Princípio:** Com o intuito de aumentar o volume, a adição de água ou soro de leite são as práticas mais comumente utilizadas, resultando em redução no teor de proteínas e gorduras, ocasionando prejuízos econômico e nutricional ao consumidor. Para mascarar essa fraude, utiliza-se o emprego de outros ingredientes dentre os quais pode ser citada a sacarose. Na determinação analítica a presença de sacarose é determinada através do indicador resorcina

que em meio acidificado, condensa-se com as aldoses, resultando um composto de coloração rósea.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 5 mL de leite, 2 mL de ácido sulfúrico e gotas de resorcina, gerando um volume mensal de 7,7 litros de resíduos.

#### **Ensaio: NEUTRALIZANTES DA ACIDEZ**

**Princípio:** Uma das principais causas da condenação do leite na recepção das usinas é a acidez excessiva. Esta acidez é decorrente da ação das bactérias sobre a lactose, produzindo diversos ácidos. A origem do problema está na falta de higiene na ordenha, contaminando o leite aliado à falta de refrigeração entre a ordenha e o transporte até a usina. Várias substâncias podem neutralizar a acidez produzida pelo metabolismo bacteriano, mascarando até certo ponto o estado de deterioração do mesmo. Dos neutralizantes, o bicarbonato é facilmente obtido e utilizado para mascarar o estado de deterioração do leite. A adição de agentes alcalinos (hidróxido de sódio ou soda cáustica, bicarbonato de sódio e carbonatos) constitui fraude. Sua presença pode ser detectada facilmente pela coloração vermelho carmim que se forma pela reação com ácido rosólico.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 5 mL de leite, 10 mL de álcool etílico neutralizado e gotas de ácido rosólico, gerando um volume mensal de 16,3 litros de resíduos.

#### **Ensaio: PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO**

**Princípio:** A fraude pela adição de conservantes ao leite visa à redução da flora original, desenvolvida após ordenha pela não observância de corretas práticas de manejo e higiene, assim como armazenamento do mesmo. O conservante possui ação bactericida que atua diretamente sobre a flora presente, mascarando a qualidade e podendo finalmente causar distúrbios ao consumidor, pela ingestão de resíduos químicos que não devem estar presentes no produto final ou leite de consumo. A detecção de peróxido de hidrogênio no leite se dá pela formação de coloração salmão em presença de guaiacol. A enzima peroxidase (naturalmente presente no leite), degrada o peróxido de hidrogênio, oxidando o indicador tetraguaiacol, responsável pela coloração característica. O teste apresenta bom desempenho em amostras de “leite cru” pelo fato da enzima, apresentar-se, em maior quantidade em amostras que não sofreram tratamento térmico.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 12 mL de leite, 2 mL de guaiacol, gerando um volume mensal de 15,1 litros de resíduos.

**Ensaio: CLORO**

**Princípio:** A contaminação exercida por cloro e hipoclorito é considerada uma fraude com o objetivo de conservar a qualidade microbiológica, ou seja, mascarar a má qualidade, mantendo a acidez dentro dos padrões. Fundamenta-se na formação do iodo livre a partir do iodeto de potássio, pela ação do cloro livre ou hipoclorito. Se houver presença de cloro livre aparecerá a coloração amarela, se não houver mudança de coloração, continua-se o procedimento, e posteriormente, se houver presença de hipocloritos, também aparecerá a coloração amarela.

**Geração de resíduos:** A técnica emprega 5 mL de leite, 0,5mL de solução de iodeto de potássio e 4 mL de solução de ácido acético ou ácido clorídrico (1+2), gerando um volume mensal de 10,3 litros de resíduos.

**Ensaio: FORMALDEÍDO**

**Princípio:** A adição de formol pode ser de forma intencional, quando adicionado em sua forma líquida com o objetivo de conservar o leite, evitando a ação de microrganismos ou também de modo incidental, quando para mascarar a adição de água, o que acarreta em perda nutricional, é então adicionado ureia ao leite com a finalidade de corrigir o aporte de alguns nutrientes. A ureia é um fertilizante utilizado para fornecer nitrogênio às plantas, no processo de sua fabricação é utilizado um produto que possui formol em sua composição.

**Geração de resíduos:** A detecção de formol pode ser empregue por dois métodos: pela reação de Leach em que é empregue 2 mL de leite, 2 mL de ácido sulfúrico e 0,5 mL de cloreto férrico, e pelo método de destilação, em que o formaldeído quando aquecido com ácido cromotrópico em presença de ácido sulfúrico, origina um produto de condensação que oxidado posteriormente transforma-se em um composto p-quinoidal de coloração violeta, esta metodologia emprega 5 mL de solução de ácido cromotrópico a 0,5 % e 1 mL do destilado, As duas metodologias geram um volume mensal de resíduo de 6 litros.

**Ensaio: CMP – CASEINOMACROPEPTÍDEO**

**Princípio:** Uma fraude comumente utilizada para aumento do volume com custo reduzido é a adição de soro de queijo ao leite. Este tipo de fraude ganha notoriedade em função da difícil detecção, uma vez que o soro de queijo, subproduto do processamento, de baixo valor comercial possui composição físico-química semelhante à do leite fluido. Frequentemente, visando mascarar este tipo de fraude, são adicionadas em conjunto substâncias reconstituíntes com o objetivo de recompor a aparência e algumas características físico-químicas do leite fraudado com água ou soro de queijo, tais como o cloreto de sódio e a

sacarose. A adição de soro de queijo ao leite leva a diminuição dos componentes sólidos e do valor nutritivo do leite.

A Espectrofotometria analisa a interação dos diferentes tipos de radiação com a matéria. O espectrofotômetro é um instrumento que permite comparar a radiação absorvida ou transmitida por uma solução que contém uma quantidade desconhecida de soluto, e uma quantidade conhecida da mesma substância. O princípio de espectrofotometria é deixar incidir luz em uma molécula, e detectar como a molécula afeta a luz (SKOOG et al., 2002).

**Geração de resíduos:** A técnica é dividida em diversas etapas, em que os reagentes são empregues e podem ser segregados separadamente uns dos outros. São empregues: Ácido Clorídrico p.a., Ácido Tricloroacético 24%, Ácido Fosfotúngstico 20%, Álcool Etílico 95%, Acido Acético Glacial p.a, Ninidrina Ácida. O volume total das etapas mensalmente é de 14 litros de resíduos.

#### **Ensaio: CONCENTRAÇÃO CIP**

**Princípio:** Para garantir a eficiência da limpeza interna dos tanques de transporte e armazenamento da matéria-prima, bem como das tubulações, é aplicado o sistema de limpeza CIP, que fundamenta-se na limpeza sem relocação ou desmontagem, com a utilização de produtos ácidos, cáusticos e posterior enxágue. Desse modo faz-se necessário a verificação da concentração utilizada nos tanques de CIP como forma a garantir o correto emprego dos produtos utilizados.

**Geração de resíduos:** A técnica para verificação da concentração baseia-se na titulação para neutralização de uma amostra de 10 ml da solução ácida ou alcalina, na presença de indicador fenolftaleína, empregando hidróxido de sódio ou ácido sulfúrico como reagente na titulação. Em média são gastos na titulação de 2 a 3 mL de NaOH ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, gerando um volume de resíduo mensal de 0,8 litro.

## 9.2 APÊNDICE B – RESULTADOS REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

A seguir são apresentados os laudos dos resultados da caracterização do efluente em diferentes etapas do processo como forma a avaliar a eficiência do tratamento empregado atualmente na empresa.



### RELATÓRIO DE ANÁLISE – PROTOCOLO DE ENTRADA Nº 360A/15

Remetente:	Cooperativa Tríticola Erechim – Ltda Cotrel		
Endereço:	Linha Um – Estrada 331		
Cidade:	Erechim - RS	Telefone: 54- 35220518	
Descrição da Amostra:	Efluente – Ponto 2		
Resp. pela coleta:	Mariane		
Local da Coleta:	Entrada da Caixa Raspadora		
Data e horário da coleta:	10/09/2015	16:30h	Data do recebimento: 11/09/2015 09:40h
Condições de recebimento:	4 °C – Frasco (5000 mL) e de vidro específico para análises físico-químicas.		

### RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

ENSAIOS	UNIDADE	RESULTADO DO ENSAIO
D.Q.O	mg/L	3979
Fósforo	mg/L	28
Nitrogênio Total	mg/L	93
Óleos Graxos	mg/L	79
Sólidos Totais	mg/L	2054

**METODOLOGIA DE REFERÊNCIA:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. ed. / 2005 - AWWA / APHA / WEF e ABNT.

*Marceli Peruzzo*  
 Marceli Peruzzo  
 Responsável Técnico  
 CRQ nº 05201978

Laboratório de Análises Cadastrado na FEPAM sob nº 06001/2015 – DL

Nota: Os resultados descritos neste relatório têm significação restrita e se aplicam tão somente à amostra analisada.

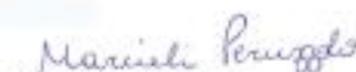
**RELATÓRIO DE ANÁLISE – PROTOCOLO DE ENTRADA Nº 365A/15**

<b>Remetente:</b>	Cooperativa Triticola Erechim – Ltda Cotrel		
<b>Endereço:</b>	Linha Um – Estrada 331		
<b>Cidade:</b>	Erechim - RS	<b>Telefone:</b> 54- 35220518	
<b>Descrição da Amostra:</b>	Efluente – Ponto 1		
<b>Resp. pela coleta:</b>	Mariane		
<b>Local da Coleta:</b>	Saída Caixa Raspadora		
<b>Data e horário da coleta:</b>	14/09/2015	16:00h	<b>Data do recebimento:</b> 15/09/2015 09:11h
<b>Condições de recebimento:</b> 4 °C – Frasco (5000 mL) e de vidro específico para análises físico-químicas.			

**RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

ENSAIOS	UNIDADE	RESULTADO DO ENSAIO
D.Q.O	mg/L	3492
Fósforo	mg/L	31
Nitrogênio Total	mg/L	113
Óleos Graxos	mg/L	167
Sólidos Totais	mg/L	2186

**METODOLOGIA DE REFERÊNCIA:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. ed. / 2005 - AWWA / APHA / WEF e ABNT.

  
**Mariele Peruzzo**  
 Responsável Técnico  
 CRQ nº05201978

Laboratório de Análises Cadastrado na FEPAM sob nº 00001/2015 – DL.

**Nota:** Os resultados descritos neste relatório têm significação restrita e se aplicam tão somente à amostra analisada.

**RELATÓRIO DE ANÁLISE – PROTOCOLO DE ENTRADA N° 359A/15**

Remetente:	Cooperativa Tríticola Erechim – Ltda Cotrel		
Endereço:	Linha Um – Estrada 331		
Cidade:	Erechim - RS	Telefone:	54- 35220518
Descrição da Amostra:	Efluente – Ponto 3		
Resp. pela coleta:	Mariane		
Local da Coleta:	Saída da Lagoa		
Data e horário da coleta:	10/09/2015	16:30h	Data do recebimento: 11/09/2015 09:40h
Condições de recebimento:	4 °C – Frasco (5000 mL) e de vidro específico para análises físico-químicas.		

**RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

ENSAIOS	UNIDADE	RESULTADO DO ENSAIO
D.Q.O	mg/L	3422
Fósforo	mg/L	38
Nitrogênio Total	mg/L	168
Óleos Graxas	mg/L	37
Sólidos Totais	mg/L	3949

**METODOLOGIA DE REFERÊNCIA:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21. ed. / 2005 – AWWA / APHA / WEF e ABNT.

*Marceli Peruzzolo*  
**Marceli Peruzzolo**  
 Responsável Técnico  
 CRQ n°05201978

Laboratório de Análises Cadastrado na FEPAM sob n° 00001/2015 – DL

Nota: Os resultados descritos neste relatório têm significação restrita e se aplicam tão somente à amostra analisada.