



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
STEFFANI MENEGUEL CAETANO

**PROPOSTA DE MELHORIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA
INDÚSTRIA DE LATICÍNIO PELA INSTALAÇÃO DE UM AGITADOR
HIDRÁULICO E UM INJETOR DE AR NA TUBULAÇÃO**

Tubarão
2019



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
STEFFANI MENEGUEL CAETANO

**PROPOSTA DE MELHORIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA
INDÚSTRIA DE LATICÍNIO PELA INSTALAÇÃO DE UM AGITADOR
HIDRÁULICO E UM INJETOR DE AR NA TUBULAÇÃO**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof. Msc. Wilson Alano (Orientador)

Tubarão

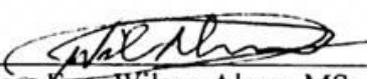
2019

STEFFANI MENEGUEL CAETANO

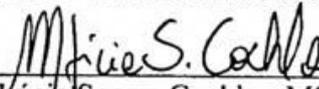
**PROPOSTA DE MELHORIA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA
INDÚSTRIA DE LATICÍNIO PELA INSTALAÇÃO DE UM AGITADOR
HIDRÁULICO E UM INJETOR DE AR NA TUBULAÇÃO**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

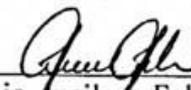
Tubarão, 19 de junho de 2019.



Professor Eng. Wilson Alano, MSc. (Orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professora Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar, MSc. (Avaliadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professora Lic. Lucilene Feltrin, Dra. (Avaliadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, Reginaldo e Josiane e ao meu irmão Luiz Fellipe, por todo apoio e suporte em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e guiado meus passos para chegar até aqui.

A minha família, em especial aos meus pais Reginaldo e Josiane, e meu irmão Luiz Fellipe, por estarem ao meu lado, me dando apoio e suporte em toda minha vida.

Aos meus amigos, pelo apoio e compreensão nesses anos de faculdade, em especial ao Junior, Mariana e Paloma.

A Universidade do Sul de Santa Catarina e seu corpo docente, responsáveis pelo aprendizado.

Ao meu orientador, Msc. Wilson Alano, pelo auxílio, ensinamentos e dedicação a este trabalho e na vida acadêmica.

Ao Ivan, pela oportunidade de realizar o estágio, por todo conhecimento e ensinamento compartilhado, assim como o auxílio para realização deste trabalho.

Aos colegas de faculdade, por percorrermos essa caminhada e enfrentarmos as dificuldades juntos.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente ao longo do caminho.

“Viver é como andar de bicicleta: É preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.” (Albert Einstein).

RESUMO

As agroindústrias têm grande importância na economia brasileira, principalmente as indústrias de laticínios, que com o crescimento deste ramo, aumenta também o consumo de água, já que é utilizada uma grande quantidade para a manutenção dos níveis sanitários exigidos pelas legislações vigentes. Os efluentes gerados neste tipo de indústria são caracterizados pela grande quantidade de matéria orgânica em sua composição. O sistema de tratamento atualmente implantado na empresa é físico-químico composto por um equalizador e um flotador. O efluente que entra no equalizador possui uma grande variação de pH, devido principalmente às operações de limpeza, uma vez que estas contêm soluções ácidas e alcalinas, afetando conseqüentemente a eficiência do tratamento. A proposta deste trabalho é inserir um dispositivo que promova a agitação hidráulica no efluente armazenado no equalizador, e também, fazer injeção de ar no efluente com a aplicação de princípios de Venturi através da redução da pressão em um determinado ponto da tubulação pelo estrangulamento da mesma. Esta injeção de ar no efluente ocasionará a quebra das moléculas de gordura, proporcionando o aumento do pH no equalizador.

Palavras-chave: Efluentes. Indústrias de laticínios. Venturi.

ABSTRACT, RÉSUMÉ OU RESUMEN

Agroindustries are very important for the Brazilian economy, specially the dairy products, which with the agroindustries expansion increase the water consumption, as the water's used in extensive range for maintenance of health standards required by the current legislation. Effluents derived by the dairy products production are characterized by their high quantity of organic matter in terms of composition. The treatment system currently implemented in the company is physic-chemical composed by an equalizer and a floating filter. The effluent that comes into the equalizer has a wide range of pH, due to the cleaning operations, once it has acidic and alkaline solutions, which affect effectiveness of the treatment. The purpose of this study is to insert an advice that provides the hydraulics agitation at the effluent stored in the equalizer and also do the air injection at the effluent according to Venturi's principle, reducing the pressure in the specific point of the pipe by its own choke. This air injection at the effluent will bring the rupture of the fat molecules, increasing the pH in the equalizer.

Keywords: Effluents. Dairy products. Venturi.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fórmula estrutural dos ácidos graxos	20
Figura 2 – Dimensões básicas de um tubo de Venturi clássico.....	21
Figura 3 - Princípio de operação do flutador	27
Figura 4 - Fluxograma do tratamento instalado no laticínio	28
Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento proposto	31
Figura 6 - Ilustração do sistema proposto.....	32
Figura 7 - Vista superior do sistema proposto	32
Figura 8 - Escolha dos pontos no sistema	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Vazão de entrada do efluente no equalizador em L/min.....	30
Gráfico 2 - pH de entrada do efluente no equalizador.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de monitoramento do efluente	23
Tabela 2 - Condições e padrões de lançamento conforme legislações.....	24
Tabela 3 - Dados de pH e vazão obtidos	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	15
2.2 CORPOS HÍDRICOS	15
2.3 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE INDUSTRIAL	16
2.3.1 Matéria orgânica	16
2.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	18
2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO	18
2.5 ACIDOGÊNESE.....	19
2.6 RANCIFICAÇÃO.....	19
2.7 TUBO DE VENTURI.....	20
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	22
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	22
3.2 A EMPRESA	22
3.2.1 Parâmetros de monitoramento ambiental	22
3.2.2 Condições e padrões de lançamento de efluentes	23
3.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	24
3.3.1 Considerações de projeto.....	24
3.3.1.1 Vazão de projeto.....	25
3.3.1.1.1 <i>Vazão volumétrica horária – Q₂</i>	25
3.3.2 Dimensionamento	25
3.3.2.1 Tanque equalizador	25
3.3.2.2 Sistema físico-químico por flotação	26
3.3.3 Proposta de adequação do sistema de tratamento	27
3.3.3.1 Dimensionamento do agitador.....	33
4 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

As agroindústrias, principalmente o ramo da atividade leiteira no Brasil, evoluiu de forma contínua, resultando em um crescimento consistente da produção. Santa Catarina ocupa o quarto lugar dos maiores produtores de leite, com um total de 3,7 bilhões de litros no ano de 2017. A região sul corresponde a 38% do volume total de leite produzido no país. (EMBRAPA, 2018).

Com o crescimento do ramo no país, aumenta também o consumo de água e entre as indústrias alimentícias, as de laticínios são consideradas as mais poluentes, pois utilizam uma grande quantidade de água, gerando efluentes líquidos que quando descartados de forma incorreta, podem causar impactos ambientais.

Como a maior parte da água presente na natureza não é própria para o consumo humano, se faz necessários controles ambientais e tratamentos para torná-la potável.

Novas tecnologias são desenvolvidas para o tratamento do efluente gerado em indústrias para evitar ou minimizar os impactos causados pelas suas atividades ao meio ambiente. Estações de tratamento com sistema biológico ou físico-químico são instaladas em empresas onde se faz necessário o tratamento do efluente gerado nela.

O empreendimento precisa analisar alguns fatores na hora de escolher o sistema de tratamento, como o nível de tratamento e eficiência de remoção desejada, os impactos ambientais causados pelo lançamento do efluente, os principais constituintes a serem removidos, as condições e padrões estabelecidos pelas legislações ambientais pertinentes, e ainda a disponibilidade financeira e estrutural da empresa que irá instalar o sistema. (ANDRADE JUNIOR, 2017).

O tratamento biológico é o sistema mais comum encontrado, por ser de simples manutenção e operação, onde a matéria orgânica é degradada por microrganismos.

Um dos sistemas de tratamento físico-químicos mais eficazes atualmente funciona por flotação, a qual consiste em transformar em flocos, impurezas em estado coloidal e suspensões e, posteriormente com o arraste das bolhas de ar dissolvido, removê-las em um sistema mecânico de superfície. (ANDRADE JUNIOR, 2017).

A empresa onde o estudo foi realizado possui sistema de tratamento físico-químico. O efluente armazenado no equalizador é composto basicamente por efluentes do processo, da limpeza, das perdas do processo, de derramamentos, de vazamentos e descarte de produtos. Esta composição provoca grandes variações no pH, principalmente por conta das

operações de limpeza, por conter soluções ácidas e alcalinas, influenciando na eficiência do tratamento, pois dificulta a formação dos flocos no flotador.

Sendo assim, torna-se necessária alguma medida corretiva para que o pH fique homogêneo no equalizador, melhorando a floculação e conseqüentemente, que o efluente seja lançado dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A preservação ambiental vem se tornando uma questão muito importante e exigida em indústrias. Cada vez mais, vem sendo cobrado através de legislações, o controle dos impactos ambientais. A destinação correta de resíduos, controle de emissões atmosféricas, tratamentos dos efluentes líquidos gerados, são alguns dos itens exigidos como condicionantes para controle em Licenças Ambientais de Operação.

As agroindústrias têm grande importância na economia brasileira e nesse setor, as indústrias de laticínios fazem parte. O Brasil tem grande importância na produção de leite, é o quarto maior produtor mundial de leite, produzindo 35,1 bilhões de litros/ano. O leite é o terceiro produto do ranking de Valor Bruto da Produção da agropecuária catarinense. (EMBRAPA, 2018).

Para manutenção dos níveis sanitários exigidos pelas legislações vigentes, é utilizada uma grande quantidade de água nas indústrias de laticínios, com isso, se faz necessário o uso de uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), para que esse efluente possa ser tratado antes de ser despejado em um corpo receptor. Esse tratamento pode ser físico-químico ou biológico.

O lançamento do efluente tratado para o meio ambiente só pode ser realizado após a constatação, através de análises laboratoriais, do atendimento aos padrões exigidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Essas análises são fundamentais para comprovar que o efluente não é nocivo ao corpo receptor e não causará impacto ambiental. Como os resultados dessas análises nem sempre são satisfatórios, fazem-se necessários ajustes ou melhorias na Estação de Tratamento de Efluentes.

Após a exposição da questão supracitada, surge a proposta: **a instalação de um agitador hidráulico com injeção de ar, utilizando princípio de Venturi no equalizador, poderá proporcionar uma melhoria no pH do efluente?**

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um sistema de agitação hidráulica no equalizador de uma ETE em uma indústria de laticínios, buscando melhoria na eficiência do sistema de tratamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever as legislações relacionadas ao despejo de efluentes em corpos hídricos;
- Caracterizar o efluente industrial;
- Descrever o sistema de tratamento de efluentes instalado na indústria;
- Medir o pH e a vazão do sistema de tratamento de efluentes;
- Dimensionar a tubulação e acessórios para provocar a alimentação de ar na corrente de efluente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Dependendo de onde o empreendimento está localizado, tem-se o órgão responsável pela fiscalização das legislações ambientais que garante a conformidade em empresas de acordo com as legislações ambientais nos âmbitos federal, estadual e municipal.

O Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) é o órgão responsável pela fiscalização e licenciamento ambiental da região onde a indústria de laticínios em estudo está localizada.

O IMA solicita relatórios de ensaio periódicos do efluente bruto e tratado abrangendo alguns parâmetros. Os limites e condições de lançamento são determinados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Assembleia Legislativa e o Governador do Estado de Santa Catarina.

As resoluções a nível federal são:

- a) Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 – Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. (CONAMA, 2005, p.1).
- b) Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 – Dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. (CONAMA, 2011, p.1).

A lei a nível Estadual é:

Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009 - Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. (Lei nº 14.675, 2009).

Os parâmetros são necessários para que haja um padrão de lançamentos de efluentes nos corpos hídricos.

2.2 CORPOS HÍDRICOS

De acordo com Sperling (2014), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. A terra possui 1,36x10¹⁸ m³ de água disponível, que é dividido em 97% água do mar, 2,2% geleiras e 0,8% água doce, sendo 97% água subterrânea

e 3% água superficial. Apenas 3% de 0,8% de água doce são utilizadas para abastecimento público por ser de fácil extração.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), estima-se que o Brasil possua cerca de 12 % de disponibilidade de água doce do planeta, mas essa distribuição não é uniforme, pois há regiões que têm escassez e outras têm em abundância.

Abastecimento doméstico e industrial, irrigação e a dessedentação de animais são os principais usos de água, estes implicam na retirada da água das coleções hídricas onde se encontram apenas os dois primeiros são associados a um tratamento prévio da água, face aos seus requisitos de qualidade mais exigentes. A relação entre uso da água e a qualidade requerida é direta. A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Somente 20% da água descartada passam por tratamento, os outros 80% voltam à natureza causando a degradação do meio ambiente. (ANDRADE JUNIOR, 2017).

A água é essencial aos seres humanos e deve apresentar características físicas, químicas e biológicas que sejam apropriadas à atividade que vai ser destinada. Racionalização e reuso são alternativas para minimizar o problema com a escassez de água. O tratamento de águas residuárias também é importante para minimizar os impactos ambientais e consequentemente preservar a qualidade dos corpos hídricos.

2.3 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE INDUSTRIAL

2.3.1 Matéria orgânica

O efluente de indústrias de laticínios possui uma alta carga de matéria orgânica, que é o principal poluente dos corpos hídricos, pelo fato de causar o consumo de oxigênio dissolvido através de microrganismos que a utilizam nas suas atividades metabólicas. Os principais compostos encontrados em efluentes domésticos são as proteínas, carboidratos, lipídios, fenóis, ureia, pesticidas, surfactantes e etc. O nitrogênio e o fósforo são nutrientes essenciais no crescimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica. (NUNES, 2009).

Análises como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) são utilizadas para medir de forma indireta a quantidade de matéria orgânica presente no efluente.

A DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica.

A estabilização biológica das substâncias orgânicas, em água contendo ar dissolvido, realiza-se em duas fases. Na primeira fase, são atacados principalmente os compostos carbonáceos; na segunda, a matéria não carbonácea, como a amônia, produzida durante a hidrólise das proteínas. Algumas das bactérias autotróficas são capazes de utilizar oxigênio para oxidar amônia a nitritos e nitratos. (VALENZUELA, 2008, p. 12).

A oxidação completa da matéria orgânica demora de 21 a 28 dias e para que o teste de laboratório não requeresse grande prazo e permitisse a comparação de diversos resultados, padronizou-se proceder a análise em 5 dias a 20 °C, portanto, tendo a DBO padrão. (NUNES, 2009).

Simplificadamente, o teste da DBO pode ser entendido da seguinte maneira: no dia da coleta, determina-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) da amostra. Cinco dias após, com a amostra mantida em um frasco fechado e incubada a 20 °C, determina-se a nova concentração, já reduzida, devido ao consumo de oxigênio durante o período. A diferença entre o teor de OD no dia zero e no dia 5 representa o oxigênio consumido para a oxidação da matéria orgânica, sendo, portanto, a DBO₅. (SPERLING, 2014, p. 89).

A indicação aproximada da fração biodegradável e taxa de degradação do despejo, da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo, a determinação aproximada da quantidade de oxigênio requerido para a estabilização biológica da matéria orgânica presente, são as principais vantagens do teste de DBO. (SPERLING, 2014).

A DQO é a medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica, através de um forte oxidante em meio ácido.

O teste é realizado em uma média de 3 horas, o resultado do teste dá uma indicação do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica, o resultado do teste não é afetado pela oxidação da amônia, estas são as principais vantagens do teste da DQO. (SPERLING, 2014).

Quando a relação entre DQO / DBO₅ é menor que 2,5 a fração biodegradável é elevada e é indicado tratamento biológico. Caso seja de 2,5 e 4 a fração biodegradável não é elevada e são necessários estudos para verificar a viabilidade do tratamento biológico. Se a relação for maior que 4, a fração não biodegradável é elevada e é indicado tratamento físico químico. (SPERLING, 2014).

2.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Mede a concentração dos íons H^+ das águas residuárias, informando se está ácida ou alcalina. A escala de pH varia de 0 a 14, onde, pH igual a 7 significa que o meio é neutro, menor que 7 é ácido e maior que 7 é básico. (NUNES, 2009).

O pH possui influência em algumas situações como na corrosão de tubulações e equipamentos, na velocidade das reações, toxidez de certos compostos, em tratamentos biológicos, pois a atividade enzimática das bactérias é anulada em meio muito ácido ou básico, é necessário um pH ideal para que ocorra. (NUNES, 2009).

Interfere no crescimento de microrganismos nos sistemas biológicos de tratamento. Nos sistemas aeróbios, a faixa ótima situa-se entre 6,5 e 8,5. Já nos sistemas anaeróbios, a faixa ótima de pH é de 6,8 a 7,2 (embora poderá conseguir estabilidade numa faixa mais ampla entre 6,3 e 7,8) porque as bactérias metanogênicas não suportam ambientes ácidos. (NUNES, 2009, p. 44)

Em processos físico-químicos, como o de coagulação-floculação, influencia também na precipitação química, em que dosagens ótimas de coagulantes dependem do pH, sendo necessário ser ajustado com produtos alcalinizantes para que ocorra a formação de flocos. (SPERLING, 2014).

São exigidos pelas legislações vigentes, padrões de pH para lançamento de efluentes, pois influência diretamente o ecossistema do corpo hídrico onde será despejado.

2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO

O sistema de tratamento de efluentes pode ser realizado através de métodos físico-químicos ou biológicos.

O processo biológico é o mais eficiente na remoção da matéria orgânica dissolvida e em suspensão presente nos efluentes. Geralmente utilizado quando há uma grande carga de matéria orgânica que não é possível remover com um processo físico químico. Pode ser dividido em dois processos importantes, aeróbio e o anaeróbio. (NUNES, 2009).

Já os processos físico-químicos são recomendados na remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão através de coagulação-floculação, matérias orgânicas não biodegradáveis, sólidos dissolvidos por precipitação química e compostos através de oxidação química. (NUNES, 2009).

O tratamento físico-químico por flotação consiste em transformar em flocos, impurezas em estado coloidal e suspensões e, posteriormente com o arraste das bolhas de ar dissolvido, removê-las em um sistema mecânico de superfície. (ANDRADE JUNIOR, 2017, p.21).

Sulfato de alumínio e cloreto férrico são utilizados em alguns casos para melhorar a formação dos flocos e auxiliando na eficiência do tratamento.

2.5 ACIDOGÊNESE

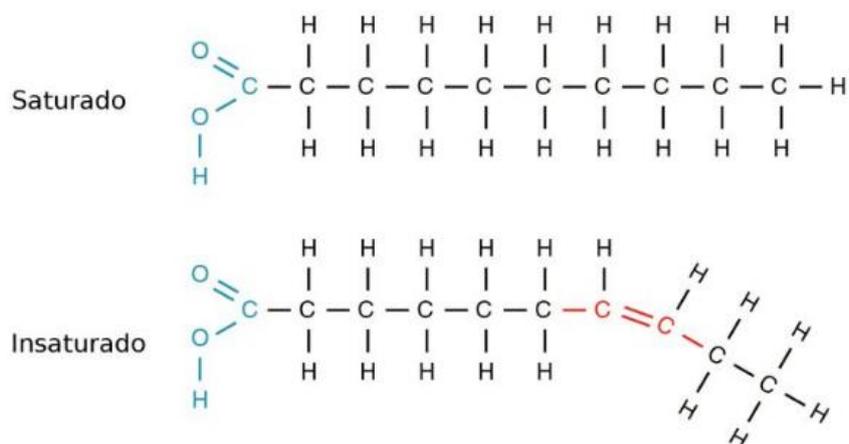
A biodigestão é um processo anaeróbio que reduz o potencial poluidor de dejetos orgânicos. A conversão da matéria orgânica requer uma mistura de espécies de bactérias e depende da temperatura do sistema e do ambiente para ocorrer. Pode ocorrer uma mínima volatilização dos gases, se processado a um pH próximo da neutralidade. A decomposição biológica da matéria orgânica compreende quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. (CARON et al., 2009).

Na etapa de acidogênese ocorre a biodegradação de bactérias, onde há a fermentação de açúcares e aminoácidos. Nessa etapa sofre influência de alguns parâmetros como temperatura, carga orgânica, pH e composição do substrato. Os compostos dissolvidos, gerados na hidrólise, são convertidos em ácidos graxos voláteis, ácido lático, hidrogênio (H₂), gás carbônico (CO₂), sais e álcoois. (CARON et al., 2009).

2.6 RANCIFICAÇÃO

Os efluentes de indústrias de laticínios possuem uma grande quantidade de lipídios, que resultam na formação de uma camada de gordura nas estações de tratamento de efluentes, que impede as transferências de oxigênio, dos substratos e dos produtos, prejudicando assim o tratamento biológico aeróbio de degradação da matéria orgânica, podendo ocasionar a morte dos microrganismos. (DURLI, 2007).

Figura 1 - Fórmula estrutural dos ácidos graxos



Fonte: INFOESCOLA, 2016.

A rancidez oxidativa, ocorre pela auto-oxidação dos triacilgliceróis com ácidos graxos insaturados por oxigênio atmosférico. (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014).

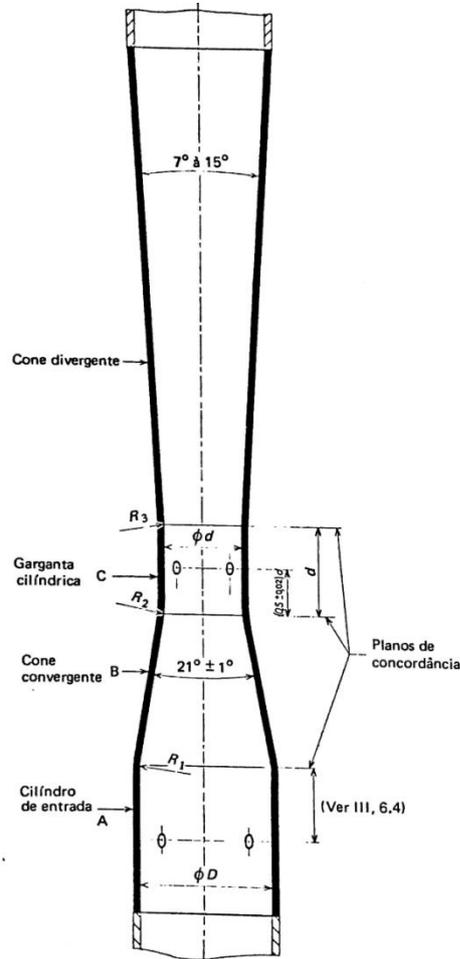
A auto-oxidação ocorre em três etapas distintas. A primeira é a inicialização, onde moléculas lipídicas formam radicais lipídicos. A separação de um átomo de hidrogênio por espécies reativas, como um radical hidroxila, onde um átomo de hidrogênio é retirado do grupo metílico de um ácido graxo insaturado, levando a formação de um radical livre, e o oxigênio adiciona-se ao radical livre e forma um radical peróxido. Após a inicialização, ocorre a propagação, que é a eliminação de um átomo de hidrogênio, preferencialmente, nos átomos de carbono, onde a energia de dissociação da ligação é baixa, ou a adição de oxigênio para um radical alquila, este período ocorrerá até que todo oxigênio ou ácido graxo insaturado seja consumido. As reações de término, nas quais os radicais livres se combinam para formar moléculas com uma gama completa de elétrons são reações de baixa energia, mas são limitadas pela baixa concentração de radicais e pela exigência de radicais com a orientação correta para as suas reações colidirem. (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014).

2.7 TUBO DE VENTURI

É um dos métodos mais utilizados para medir vazão em tubos, desenvolvido por Clemens Herschel. É mais preciso em relação a orifícios e bocais, por apresentar menor perda

de carga, o que torna seu uso interessante para instalações industriais onde esta característica é importante. (DELMÉE, 1989).

Figura 2 – Dimensões básicas de um tubo de Venturi clássico



Fonte: Delmée, 1989.

O princípio de funcionamento ocorre devido à diferença de diâmetros ao longo do tubo de Venturi, onde há uma diminuição do diâmetro, ocasionando um aumento da velocidade e resultando em um menor campo de pressão. Existem três partes importantes do tubo de Venturi: o cone de entrada, que é destinado a aumentar progressivamente a velocidade do fluido; a parte intermediária cilíndrica, onde se faz a medição de baixa pressão e o cone de saída, que diminui progressivamente a velocidade até ser igual à de entrada. (DELMÉE, 1989).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A investigação realizada identifica-se como estudo de caso, bibliográfico, de abordagem qualitativa e de nível exploratório. Os estudos de caso permitem ao investigador elaborar e determinar o isolamento do objeto de estudo em forma de esferas de essência.

O estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que abrange tudo com a lógica de planejamento incorporando abordagens específicas à coleta de dados e à análise de dados. Requer do pesquisador cuidados o planejamento do estudo. De um modo geral, a escolha por este método se torna apropriada quando o pesquisador busca responder questões que expliquem circunstâncias atuais de algum fenômeno social, na formulação de como ou por que tal fenômeno social funciona. (YIN, 2001).

3.2 A EMPRESA

O estudo foi realizado em um empreendimento que tem como atividade a preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios, localizado na região sul de Santa Catarina. A empresa utiliza como matéria prima o leite, sendo consumidos aproximadamente 15.000 litros de leite *in natura* por dia.

3.2.1 Parâmetros de monitoramento ambiental

O órgão ambiental responsável pelo licenciamento ambiental da empresa é o Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA). São determinados através da Licença Ambiental de Operação (LAO), parâmetros a serem analisados periodicamente, para comprovar a eficiência do tratamento de efluentes da empresa, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de monitoramento do efluente

	Parâmetros
Efluente Bruto	pH
	DBO5
	DQO
	Fósforo
Efluente Tratado	pH
	Temperatura
	DBO5
	DQO
	Fósforo
	Turbidez
	Sólidos em suspensão
	Sólidos sedimentáveis
	Óleos e graxas
	ABS
	Sulfetos
	Cloretos
	Nitrogênio amoniacal total
	Coliformes totais e termotolerantes

Fonte: CONAMA,2011.

3.2.2 Condições e padrões de lançamento de efluentes

Relatórios de ensaio do efluente bruto e tratado são realizados para que o efluente a ser lançado no corpo receptor, atenda aos limites e condições específicas para que não cause impacto ambiental, os quais são determinados pelas legislações ambientais, CONAMA (Resolução nº 430) e a lei estadual nº 14.675 e exigidos pelo IMA com frequência periódica de acordo com a LAO do empreendimento, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Condições e padrões de lançamento conforme legislações

Parâmetros	CONAMA Resolução nº 430	Lei nº 14.675
pH	Entre 5 e 9	Entre 6 e 9
DBO5	Remoção mínima de 60%	60 mg/L ou remoção mínima de 80%
DQO	-	-
Fósforo	-	4 mg/L ou remoção mínima de 75%
Temperatura	Inferior a 40 °C	-
Turbidez	-	-
Sólidos em suspensão	-	-
Sólidos sedimentáveis	1 mL/L	-
Óleos minerais	20 mg/L	-
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L	30,0 mg/l
ABS	-	-
Sulfetos	1,0 mg/L S	1 mg/L
Cloretos	-	-
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N	-
Coliformes totais e termotolerantes	-	-

Fonte: CONAMA,2011.

O efluente só pode ser lançado direta ou indiretamente no corpo receptor se estiver dentro dos padrões mostrados na tabela 2.

3.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

3.3.1 Considerações de projeto

Para indústrias de laticínios é recomendado o tratamento biológico, pela quantidade de matéria orgânica presente no efluente. Lagoas aeróbias seguidas por lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas e lagoas aeradas seguidas por lagoas de decantação são exemplos desse tratamento.

É necessária uma grande área para implantar lagoas para tratamento biológico, mas a empresa em questão não possui área suficiente para isso. Sendo assim, foi implantado um sistema físico-químico na empresa.

Para fins de projeto, a critério de dimensionamento, foi determinado como tempo de operação de 8 horas por dia, com um volume de leite consumido de 15 m³ por dia, com capacidade de operação do flutador de 10 m³ por hora.

3.3.1.1 Vazão de projeto

A vazão de projeto é dada considerando aproximadamente a geração de 1 litro de efluente para cada litro de leite consumido, sendo assim:

$$Q_1 \cong 15 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

3.3.1.1.1 Vazão volumétrica horária – Q_2

$$Q_2 \cong 1,87 \text{ m}^3 / \text{h} \cong 0,00052 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.3.2 Dimensionamento

3.3.2.1 Tanque equalizador

A equalização tem como principal objetivo regular a vazão e homogeneizar o efluente, evitando cargas de choque nas unidades de tratamento posteriores, segundo Nunes (2004).

Para processos descontínuos onde ocorre tratamento físico-químico, o dimensionamento do equalizador é feito pelo método de conservação das massas.

- a) Contribuição diária de águas residuais;

A contribuição diária, idem item 3.4.1.1.

b) Cálculo do volume de equalização

Para o cálculo de tanque equalizador adotou-se o tempo de detenção para aproximadamente 6,5 dias, considerando a operação de 8 h/dia, o tempo de detenção será de aproximadamente 52,0 horas.

$$V_{eq} = Q_2 * T_{detenção} \quad (\text{Equação 1})$$

$$V_{eq} = 97,25 \text{ m}^3$$

O tanque de equalização foi construído em alvenaria com as seguintes dimensões:

$$V_{eq} = \text{Comprimento} * \text{Largura} * \text{Profundidade} \quad (\text{Equação 2})$$

$$V_{eq} = 7 \text{ m} * 5 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$V_{eq} = 105 \text{ m}^3$$

Sendo assim, o tanque equalizador atende ao volume requerido de 97,24 m³.

3.3.2.2 Sistema físico-químico por flotação

De acordo com Nunes (2004), para separar materiais de peso específico maior que o da água, ou para remover óleos emulsionados, é necessário insuflar ar comprimido, cujas bolhas arrastam para a superfície líquida, sólidos e líquidos de difícil separação.

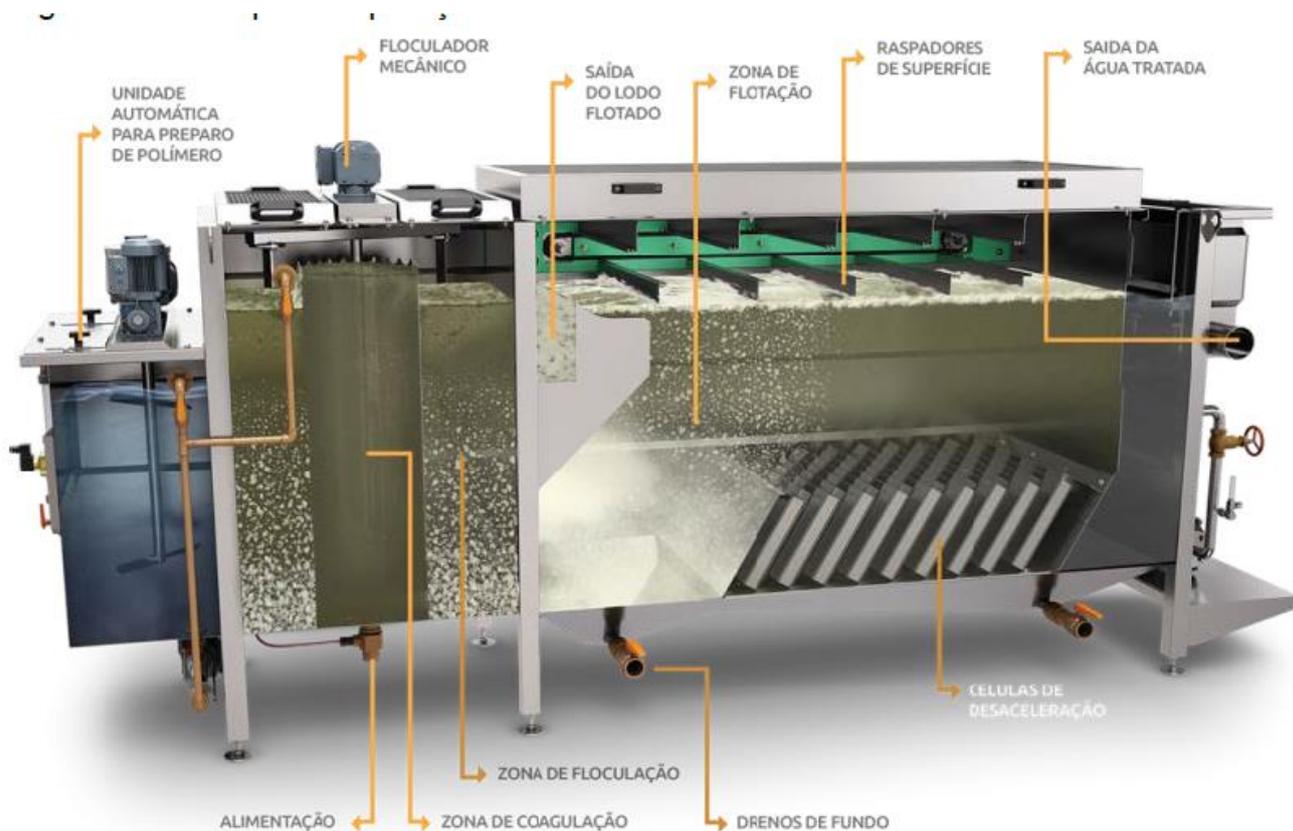
A flotação fundamenta-se no processo de separação de partículas (ou agregados) ou gotículas via adesão a bolhas de ar, pela incorporação dessas no interior de flocos ou por simples arraste hidráulico. As unidades formadas (flocos) por bolhas e partículas (ou gotículas) apresentam uma densidade aparente menor do que no meio aquoso e “flutuam” ou “flotam” até a superfície de um reator (célula de flotação) ou interface líquido/ar, onde são removidos por um sistema mecânico de superfície, enquanto a água ou o efluente clarificado ficam nas camadas mais baixas do tanque de onde é removido. (TAFFAREL, 2012, p.103).

A flotação possui vantagens como: lodos mais concentrados, remoção de sólidos de difícil separação, ocupação de menor área e volume e taxas maiores de aplicação superficial. Pode ser realizada através de ar dissolvido, onde é introduzido ar diretamente no líquido no fundo do tanque, o qual possui baixa eficiência de remoção de sólidos e óleos. E também por ar disperso consiste em receber o efluente em um tanque em que a bomba recalca o efluente a um tanque de retenção, enquanto o ar é aplicado, com controle de valor admissível, na sucção da bomba. (TAFFAREL, 2012).

O processo de flotação ocorre da seguinte maneira: o efluente bruto entra na tubulação de floculação do flotação, onde é feita a leitura de seus parâmetros físicos

e químicos, e logo após, são realizadas as devidas correções. Em seguida, o efluente recebe a dosagem das microbolhas oriundas da bomba geradora; essas microbolhas, com dimensões entre 20 e 25 microns, capturam os flocos que foram formados pelo processo químico. Ao entrar no flotador, o efluente tende a manter sua linha de corrente, no entanto, quando em contato com as células de desaceleração, ele diminui severamente sua velocidade, possibilitando uma melhor flotação dos flocos até a superfície, onde são removidos para um tanque de depósito. A água, já sem sólidos em suspensão, é submetida a uma nova leitura de parâmetros para análise de desempenho, e em seguida, sai pelo vertedouro. (TAFFAREL, 2012, p.104).

Figura 3 - Princípio de operação do flotador



Fonte: MCLvale Tratamento de Efluentes, 2019.

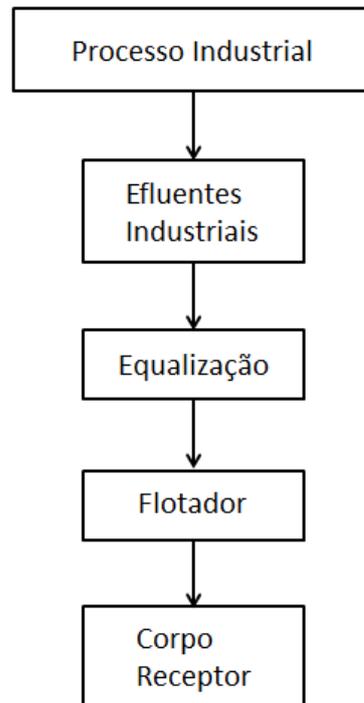
As bolhas que são introduzidas no processo de flotação por ar dissolvido, são obtidas usando aparelhos do tipo Venturi. (TAFFAREL, 2012).

3.3.3 Proposta de adequação do sistema de tratamento

O sistema de tratamento de efluentes atual do laticínio é mostrado na figura abaixo, onde o efluente é gerado no processo industrial, é enviado para o equalizador para

aguardar o tratamento que é realizado por método de flotação e então ser despejado no corpo receptor.

Figura 4 - Fluxograma do tratamento instalado no laticínio



Fonte: da autora, 2019.

No dia 22 de maio de 2019, foi realizada visita ao empreendimento para medir a vazão e o pH do efluente que chega no equalizador. Conforme dados apresentados na tabela, a medição foi realizada durante o processo produtivo, das 08 h 00 min às 20 h 00 min.

Tabela 3 - Dados de pH e vazão obtidos

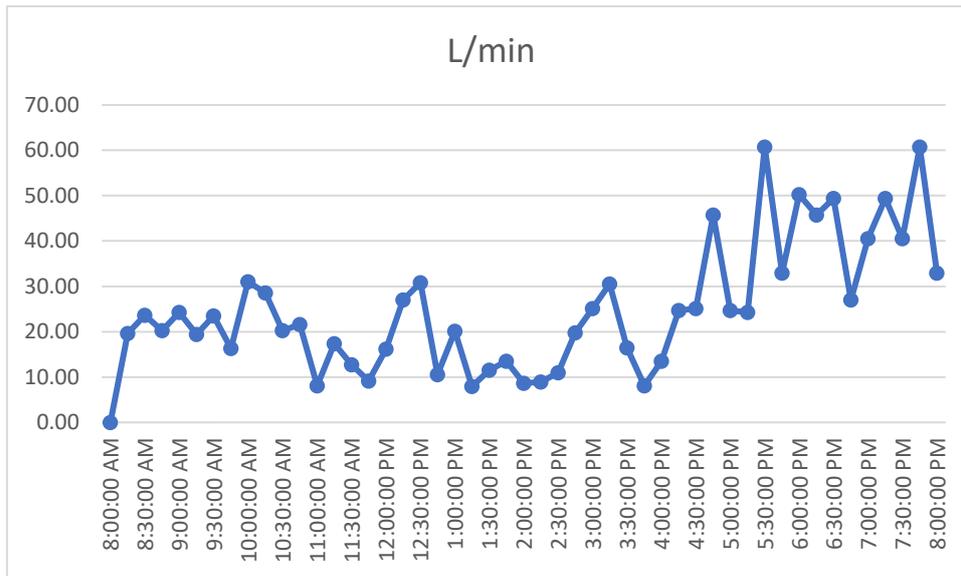
Horário	pH	Vazão (L/min)
08:00:00	5,0	0,00
08:15:00	6,5	19,60
08:30:00	7,0	23,63
08:45:00	5,5	20,25
09:00:00	5,5	24,30
09:15:00	5,5	19,44
09:30:00	6,0	23,49
09:45:00	6,5	16,34
10:00:00	7,0	31,05
10:15:00	5,5	28,59
10:30:00	5,5	20,25
10:45:00	5,5	21,60
11:00:00	5,5	8,10
11:15:00	10,5	17,36
11:30:00	6,5	12,69
11:45:00	5,5	9,11
12:00:00	6,5	16,20
12:15:00	6,5	27,00
12:30:00	7,5	30,78
12:45:00	7,5	10,53
13:00:00	4,5	20,09
13:15:00	7,5	7,97
13:30:00	5,5	11,54
13:45:00	6,5	13,50

14:00:00	6,5	8,64
14:15:00	6,5	8,91
14:30:00	6,5	10,94
14:45:00	6,5	19,76
15:00:00	6,0	25,11
15:15:00	6,5	30,51
15:30:00	6,5	16,47
15:45:00	5,5	8,10
16:00:00	6,5	13,50
16:15:00	6,5	24,71
16:30:00	6,5	25,11
16:45:00	6,5	45,77
17:00:00	6,5	24,71
17:15:00	6,5	24,30
17:30:00	6,5	60,75
17:45:00	6,5	32,94
18:00:00	6,5	50,22
18:15:00	6,5	45,77
18:30:00	6,5	49,41
18:45:00	6,5	27,00
19:00:00	6,5	40,50
19:15:00	6,5	49,41
19:30:00	6,5	40,50
19:45:00	6,5	60,75
20:00:00	6,5	32,94

Fonte: da autora, 2019.

De acordo com a tabela confeccionada, foi possível criar o gráfico representando a vazão e pH.

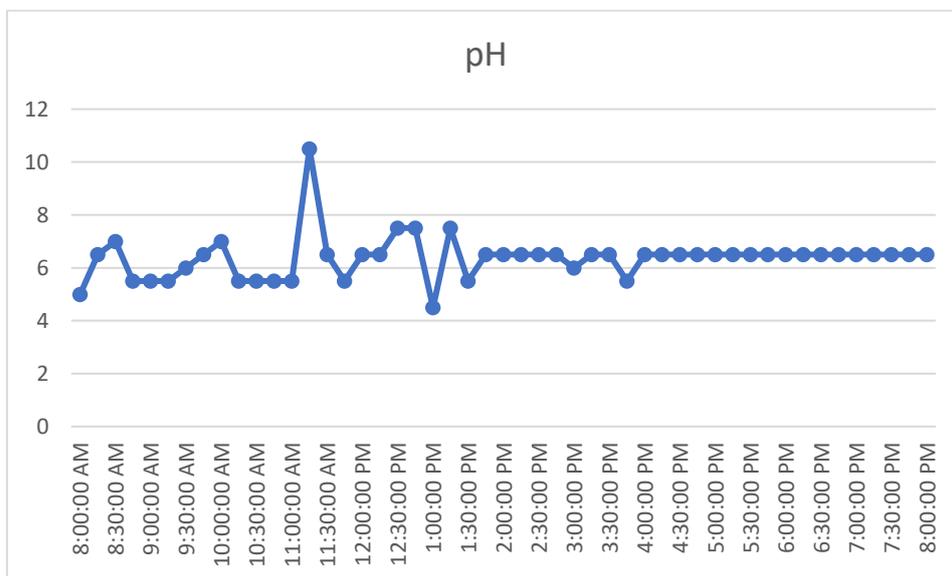
Gráfico 1 - Vazão de entrada do efluente no equalizador em L/min



Fonte: da autora, 2019.

Os picos de vazão representados no gráfico 1, são ocasionados pelas limpezas de tanques no interior da indústria.

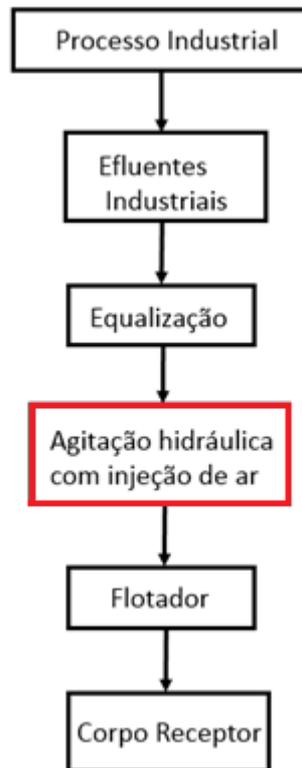
Gráfico 2 - pH de entrada do efluente no equalizador



Fonte: da autora, 2019.

Foi encontrada uma grande variação no pH, devido ao efluente conter águas de diversas atividades da indústria, como de limpeza e do processo em si.

Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento proposto



Fonte: da autora, 2019.

O efluente que se encontra no equalizador da indústria de laticínio possui uma alta carga de ácidos graxos, esse ácido sofre uma reação natural quando em contato com o oxigênio e ocorre a rancificação. O lodo flota, formando uma espuma na superfície do tanque equalizador, que impede as transferências de oxigênio, dos substratos e dos produtos, prejudicando assim o tratamento biológico aeróbio de degradação da matéria orgânica.

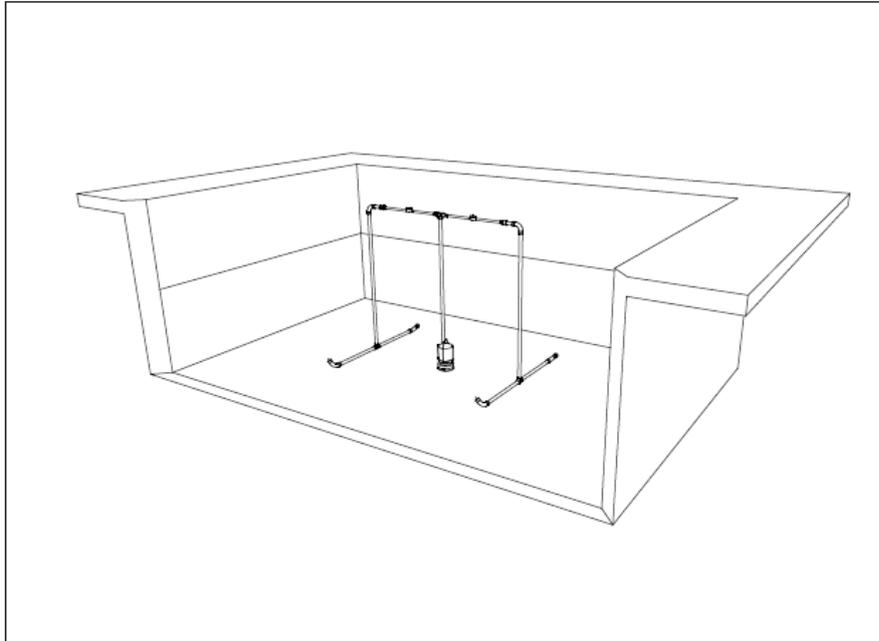
Um dos produtos gerados na reação de rancificação é o ácido láctico, que é um dos responsáveis por manter o pH baixo no equalizador, na faixa de 4,5.

A finalidade de instalar um agitador hidráulico com injeção de ar no equalizador é para que ele mantenha o pH homogêneo e próximo a 6 e favorecendo a atividade de decomposição da matéria orgânica. Para isso, será necessário um tempo de detenção do efluente bruto entre 5 a 7 dias e com a injeção de oxigênio contínua. O funcionamento da estação de tratamento físico químico deverá ser realizado por batelada, a cada 6 dias.

O tanque equalizador foi construído com capacidade um pouco maior que a capacidade requerida, o que será suficiente para o efluente permanecer em detenção.

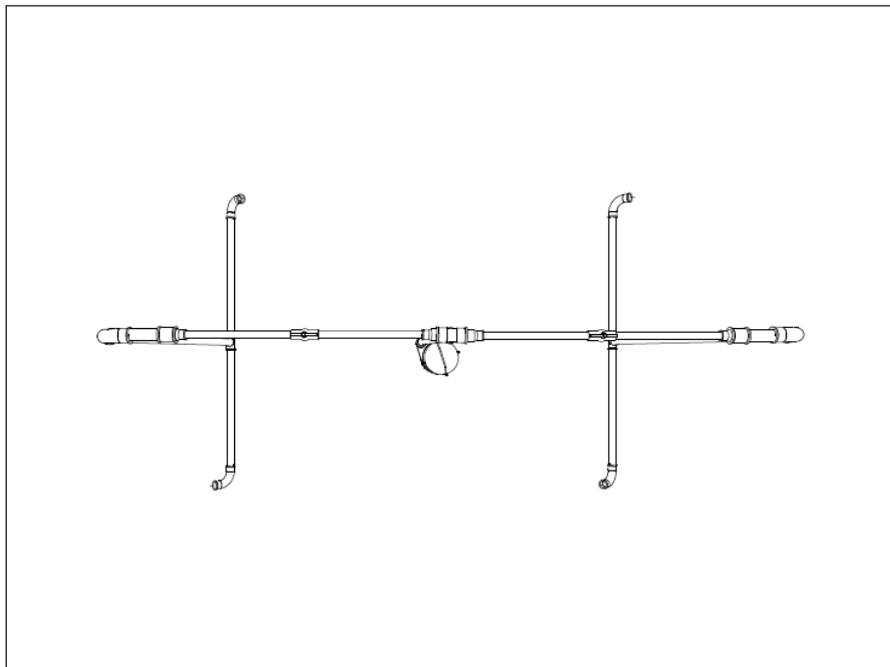
A figura 6 mostra como será implantado o agitador hidráulico.

Figura 6 - Ilustração do sistema proposto



Fonte: da autora, 2019.

Figura 7 - Vista superior do sistema proposto



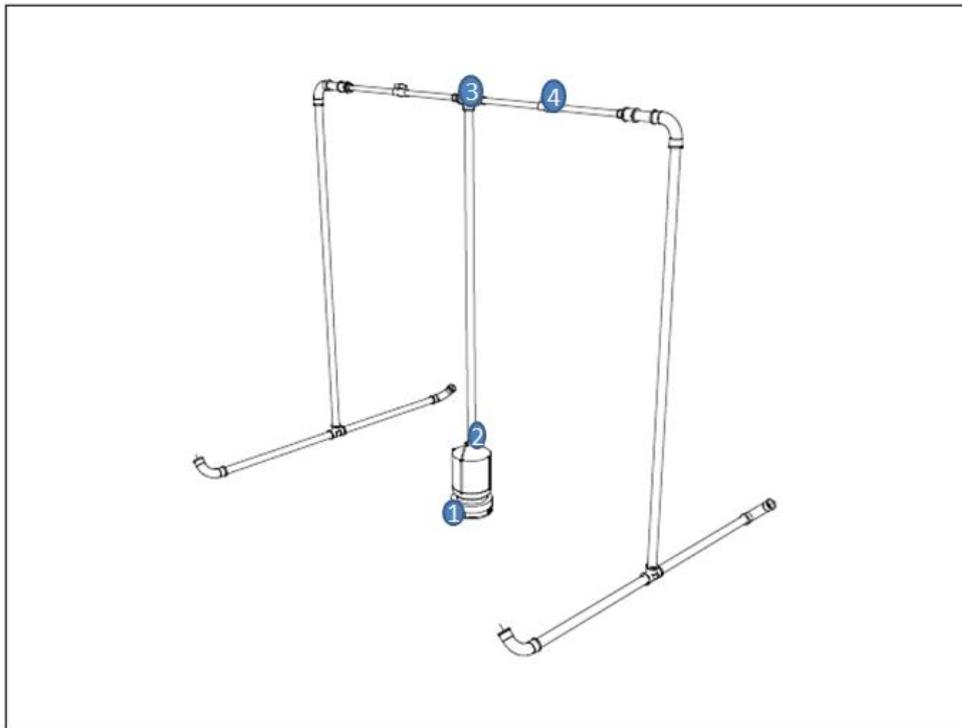
Fonte: da autora, 2019.

3.3.3.1 Dimensionamento do agitador

Será considerada uma vazão de alimentação de 33,07 m³/h ou 9,186x10⁻³ m³/s; com uma temperatura média de 20°C, a massa específica da água nessa temperatura é 998,20 kg/m³, logo, a vazão será de 33.010,474 kg/h de efluente alimentado ao agitador hidráulico.

Com a equação de Bernoulli, é possível encontrar as variáveis dos pontos escolhidos na figura 8.

Figura 8 - Escolha dos pontos no sistema



Fonte: da autora, 2019.

$$w = \left(\frac{v^2 - v^1}{2} + h_L + g(y_2 - y_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) * \rho * v * A \quad (\text{Equação 3})$$

Para o ponto 1, tem-se apenas a pressão ocasionada na entrada da bomba submersa, calculada na equação 4.

$$P_1 = \rho * g * y \quad (\text{Equação 4})$$

$$P_1 = 998,20 * 9,81 * 2,50$$

$$P_1 = 24480,86 \text{ Pa}$$

$$v_1 = \frac{Q}{\pi * d^2 / 4} \quad (\text{Equação 5})$$

$$v_1 = \frac{0,009186}{\frac{\pi * 0,04^2}{4}}$$

$$v_1 = 7,310 \text{ m/s}$$

Para o ponto 2, após a bomba, o diâmetro será 40 mm. A velocidade no ponto 2 será a mesma do ponto 1. A bomba utilizada será de 2 hp de potência, que já está disponível no empreendimento.

$$W = 2 * 745,699 \text{ (Equação 6)}$$

$$W = 1491,40 \text{ W}$$

Com a equação 3, é possível encontrar a pressão no ponto 2.

$$P_2 = \left(\frac{W}{\rho * v * A} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} \right) \rho \quad (\text{Equação 7})$$

$$P_2 = \left(\frac{1491,40}{998,20 * 7,310 * 0,00125664} - \frac{7,310^2 - 7,310^2}{2} + \frac{24480,86}{998,20} \right) 998,20$$

$$P_2 = 186835,93 \text{ Pa}$$

No ponto 3, por conta da bifurcação do fluxo, a vazão será a metade da vazão na bomba, ou seja, 16,535 m³/h ou 0,004593 m³/s. O diâmetro da tubulação 3 será 32 mm. A velocidade no ponto 3 será:

$$v_3 = \frac{0,004593}{\frac{\pi * 0,032^2}{4}} \quad (\text{Equação 8})$$

$$v_3 = 5,711 \text{ m/s}$$

O número de Reynolds é calculado pela seguinte equação:

$$Re = d * \frac{v}{\nu} \quad (\text{Equação 9})$$

$$Re = 0,032 * \frac{5,711}{0,000000995}$$

$$Re = 183670,35$$

O comprimento da tubulação entre os pontos 2 e 3 é 2,5 m e os acessórios utilizados serão uma junção e um T. A perda de carga no ponto 3 será:

$$h_L = 2 * f_f * \frac{L_e}{D} * v^2 \quad (\text{Equação 10})$$

$$h_L = 2 * 0,0044 * 5,711^2 * 145$$

$$h_L = 41,617 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Com a equação 3, é possível calcular a pressão no ponto 3.

$$P_3 = \left(-\frac{v_3^2 - v_2^2}{2} - h_L - g(y_3 - y_2) + \frac{P_2}{\rho} \right) \rho \quad (\text{Equação 11})$$

$$P_3 = \left(-\frac{5,711^2 - 7,310^2}{2} - 41,617 - (9,81 * 2,5) + \frac{186835,93}{998,2} \right) 998,2$$

$$P_3 = 131204,54 \text{ Pa}$$

O diâmetro no estrangulamento será de 20 mm.

$$v_4 = \frac{0,004593}{\frac{\pi * 0,020^2}{4}} \quad (\text{Equação 12})$$

$$v_4 = 14,62 \text{ m/s}$$

O número de Reynolds é calculado pela seguinte equação:

$$Re = 0,020 * \frac{14,62}{0,000000995} \quad (\text{Equação 13})$$

$$Re = 293869,35$$

O comprimento da tubulação entre os pontos 3 e 4 é 0,65 m e os acessórios utilizados serão uma redução de 40 mm para 32 mm e uma redução de 32 mm para 20 mm. A perda de carga no ponto 4 será:

$$h_L = 2 * 0,0038 * 14,62^2 * 44,5 \quad (\text{Equação 14})$$

$$h_L = 72,29 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

A pressão no ponto 4 é:

$$P_4 = \left(-\frac{v_4^2 - v_3^2}{2} - h_L + \frac{P_3}{\rho} \right) \rho \quad (\text{Equação 15})$$

$$P_4 = \left(-\frac{14,62^2 - 5,711^2}{2} - 72,29 + \frac{131204,54}{998,2} \right) 998,2$$

$$P_4 = -31356,76 \text{ Pa}$$

Como no ponto 4, o qual é onde o estrangulamento está localizado, o resultado obtido foi uma pressão negativa, será sugado o ar nesse ponto para inserir no agitador.

4 CONCLUSÃO

O efluente de indústrias de laticínios possui uma alta carga de matéria orgânica, consumo de oxigênio dissolvido e uma grande variação de pH devido às atividades de limpeza para manter os níveis sanitários exigidos pelas legislações.

O IMA é o órgão responsável pela fiscalização e licenciamento ambiental da empresa. Através das condicionantes da licença ambiental de operação, são determinados quais parâmetros devem ser analisados para a comprovação da eficiência do tratamento de efluentes. A resolução CONAMA nº 430 e a Lei estadual nº 14.675 determinam os padrões e condições de lançamento de efluentes.

A empresa possui instalado um tratamento físico-químico composto por um equalizador e um flotor, pois não havia área suficiente para a instalação de um sistema biológico.

Em visita feita ao empreendimento, foram medidos o pH e a vazão do efluente que é alimentado ao equalizador, o qual mostrou que possui grande variação no pH, devido às atividades de limpeza, como citado anteriormente, o que acaba dificultando a formação de flocos no sistema de tratamento implantado na empresa.

Havendo a possibilidade de melhorias no sistema de tratamento de efluentes da indústria de laticínios, propôs-se a implantação de um agitador hidráulico com injeção de ar, utilizando princípio de Venturi no equalizador, para manter o pH homogêneo e mais próximo de 6. De acordo com as informações obtidas em estudo, esse procedimento auxiliará no fornecimento de oxigênio para que as bactérias degradem a matéria orgânica. O agitador terá uma função semelhante a aeradores que são instalados em lagoas de tratamento biológico, mas, como a estação de tratamento não dispõe de estrutura para a instalação do mesmo, será usado o agitador hidráulico.

Para pesquisas posteriores, sugere-se a realização de medições de pH no efluente que é armazenado no equalizador para verificar se o mesmo é constante e próximo a 6, e avaliar se houve uma melhora no processo de formação de flocos no flotor.

REFERÊNCIAS

AMANCO. Disponível em: <<http://amanco.com.br/produtos/predial/agua-fria/amanco-soldavel/tubo-de-pvc>> . Acesso em 21 maio 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10 maio 2019.

ANDRADE JUNIOR, Alaor. **TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS DE UM FRIGORÍFICO DE SUÍNOS VISANDO A REMOÇÃO DE NITROGÊNIO.** 2017. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Sul de Santa Catarina - Unisul, Tubarão, 2017.

CARON, Carolina Fagundes et al. **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica.** Ciência e Cultura. Curitiba, p. 63-73. fev. 2009.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. **MICROORGANISMOS ASSOCIADOS AO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO COM COAGULANTE ORGÂNICO VEGETAL (TANATO QUATERNÁRIO DE AMÔNIO) – I. MICROORGANISMOS FILAMENTOSOS.** Revista Estudos de Biologia, Itajai, v. 26, n. 54, p.21-27, jan. 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA número 357 de 17 de março de 2005.** Brasília, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA número 430 de 13 de maio de 2011.** Brasília, 2011.

DELMÉE, Gérard J. **Manual de medição de vazão.** 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1989.

DURLI, Edneia. **TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS UTILIZANDO LIPASES DE Burkholderia cepacia LTEB11.** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Gado de leite. Disponível em <<https://www.embrapa.br/gado-de-leite>>. Acesso em: 01 abril 2019.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **OS TIPOS E OS EFEITOS DA RANCIDEZ OXIDATIVA EM ALIMENTOS.** São Paulo: Editora Insumos Ltda, v. 29, n. 2014, 2014.

MCLvale Tratamento de Efluentes. Disponível em: <http://www.mclvale.com.br/produtos_detalhes.php?id=1>. Acesso em: 30 abril 2019.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** 4. ed. Aracaju: Gráfica e Editora J. Andrade, 2004.

TAFFAREL, Prof. Silvio Roberto. **Apostila de Operações e Processos Hidrosanitários I.** Canoas, 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4.ed.** – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4.ed.** – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

YIN, Robert K.. **Estudo de caso: Planejamento e métodos. 2. ed.** São Paulo: Bookman, 2001.