

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS KRUGER SANTOS

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE LATICÍNIOS DA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

LUCAS KRUGER SANTOS

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
EFLUENTES DE LATICÍNIOS DA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

**Evaluation and dimensioning of the of milk industry effluents treatment
system in the southeast region of Paraná**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Dr.^a Fernanda Batista de Souza.

Coorientador(a): Dr.^a Ana Paula Peron

FRANCISCO BELTRÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Francisco Beltrão**



LUCAS KRUGER SANTOS

**AVALIAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
LATICÍNIOS DA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Ambiental: Análise E Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Meio Ambiente.

Data de aprovação: 30 de Setembro de 2022

Dra. Fernanda Batista De Souza, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Francielle Girardi Alves, Doutorado - Universidade do Vale do Itajaí (Univali)

Dr. Marcelo Bortoli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 05/10/2022.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente a pessoa que tornou tudo isso possível, e me propiciou vivenciar todas as experiências até esse ponto, Marlene Maria Kruger, minha mãe. Obrigado por todo o apoio prestado até esse ponto e por sempre confiar em mim e apoiar em tudo.

Agradeço em segundo lugar a minha orientadora Prof.(a) Dr.^a Fernanda de Souza Batista e coorientador Prof.(a) Dr.^a Ana Paula Peron, pelos inúmeros ensinamentos, paciência e sabedoria para me guiar na realização deste trabalho, bem como por acreditar na concepção deste trabalho.

A Secretaria do Programa e a Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação da UTFPR de Francisco Beltrão, pelas explicações e ajuda prontamente prestada nos tramites internos para defesa.

Agradeço também a todos os membros do Instituto Água e Terra, Escritório de Francisco Beltrão, em especial ao antigo chefe regional, Sr. Dirceu Abatti pela autorização para utilização de dados para este trabalho, bem como aos demais funcionários: Elis Regina, Taís, Amanda e Jéssica, e aos técnicos Zellio, Mário, Sidnei e Henrique pelos ensinamentos prestados, amizades construídas e experiências vivenciadas.

Sou grato a minha família, e aqui incluo meu pet, Freddy, tias, tios e demais parentes pelo suporte sempre ofertado.

Por fim, agradeço aos meus amigos e demais pessoas que de alguma maneira auxiliaram nessa caminhada.

RESUMO

A indústria do leite e seus derivados possui um grande impacto na economia nacional, estadual e regional, sendo o leite responsável por cerca de 6% da produção agropecuária do país. Este trabalho teve por objetivo investigar o sistema de tratamento de efluentes de laticínios de pequeno e médio porte, localizados no Sudoeste do Paraná, analisando se o efluente tratado por esses empreendimentos atende aos padrões de lançamento, seja ele direto ou incorporação no solo para os parâmetros: DBO, DQO, óleos vegetais e gordura animal, toxicidade *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, estabelecidos em resoluções vigentes e em caso de não atendimento, propor um sistema com adequações, mediante um redimensionamento dos sistemas, proporcionando atendimento a legislação. A metodologia consistiu da coleta do efluente na entrada e saída do sistema de tratamento de quatro laticínios, seguida de análises laboratoriais em laboratórios credenciados para quantificação dos parâmetros. A comparação dos resultados com os valores limites de lançamento foi realizada, sendo que os quatro empreendimentos não atenderam a norma em pelo menos um dos parâmetros estudados, desse modo, se realizou uma proposta de adequação mediante um novo dimensionamento. O projeto novo resultou na instalação de uma calha parshall, com abertura de uma polegada nos quatro empreendimentos, a eficiência esperada pelo gradeamento na remoção de substâncias grosseiras é de 71%, sendo adotado gradeamento de limpeza manual em função da baixa vazão. A caixa de gordura e tanque de equalização tiveram dimensionamentos variados para cada empreendimento, em detrimento das diferentes vazões, o tempo de retenção hidráulica foi igual para todos, sendo adotado um tempo de três horas para a caixa de gordura e 6 horas para o tanque de equalização. A lagoa anaeróbica foi dimensionada com base no tempo de retenção, sendo fixado um valor de cinco dias, a medida do comprimento é o dobro da largura e a eficiência esperada foi de 42% de remoção de DBO. A lagoa aerada facultativa foi dimensionada considerando a carga orgânica do efluente, resultando em lagoas com tempos de 50, 31, 105 e 21 dias para os laticínios 1, 2, 3 e 4, sendo calculado a demanda energética necessária para a correta aeração da lagoa mediante instalação de aeradores, alcançando uma eficiência de 85%. Em substituição ao sistema de tratamento por lagoas, projetou-se um biodigestor como tratamento secundário, visando a redução dos parâmetros e geração de energia, o biodigestor projetado apresentou um tempo de um dia e eficiência esperada de 95%. Ao final de ambos os métodos, projetou-se a instalação de um biorreator de membranas para promover a microfiltração do efluente, resultando em uma remoção de 90% da DBO, resultando em um efluente que atenda os parâmetros para os quatro empreendimentos. Concluiu-se, portanto, os empreendimentos em operação no sudoeste do Paraná, estudados neste trabalho não atendem as normas quanto ao lançamento de efluentes, demandando de adequações para reduzir os impactos causados ao meio ambiente.

Palavras-chave: processamento do leite; dimensionamento; lançamento direto; incorporação no solo.

ABSTRACT

The milk industry and its derivatives has a great impact on the national, state and regional economy, with milk accounting for about 6% of the country's agricultural production. This work aimed to investigate the effluent treatment system of small and medium-sized milk industry situated in the Southwest of Paraná, analyzing if the effluent meets the demanding environmental standards for launching in the hydrous body or incorporation into the soil, for the parameter: BOD, COD, vegetable oils and animal fat, *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri* toxicity, established in environmental resolutions, and in case of non-compliance, propose a system with adjustments, through a resizing of systems, providing the fulfilling legislation. The methodology consisted on collecting of the effluent at the entrance and exit of the four milk industry treatment system, preceded by laboratory analyzes made in accredited laboratories to quantify the parameters. The results were compared with the demanding environmental standards for launching values, and the four enterprises did not meet the standard in at least one of the parameters analyzed, and the adaptation proposal was made through a new resizing for all milk industry. The new dimensioning resulted in the installation of a Parshall, with one inch opening for the four projects, the efficiency expected by the screening for removing coarse substances is 71%, being adopted the manual screening for cleaning due to the low flow. The grease box and the equalization tank have had different dimensions for each project, to the detriment of the different flow rates, the hydraulic retention time was the same for all, was adopted three hours for the grease box and 6 hours for the equalization tank. The anaerobic lagoon was dimensioned based on the hydraulic retention time, been adopted five days, the length measurement is twice the width, the expected efficiency was 42% for BOD removal. The facultative aerated lagoon was dimensioned considering the organic load of the effluent, resulting in lagoons with times of 50, 31, 105 and 21 days, for milk industry 1, 2, 3, and 4, was calculated the required energy demands for the correct aeration of the lagoon with the installation of aerators, achieve an 85% conversion efficiency. In place of the lagoon treatment system, a biodigester was designed as a secondary treatment, aiming at reduction parameters and power generation, he projected biodigester presented a time of one day and expected efficiency of 95%, At the end of both methods, the installation of a membrane bioreactor was designed to promote the microfiltration of the effuente, resulting in a 90% removal of the BOD, resulting in an effluent that complied with all the requirements established for the four companies. It was concluded, therefore, the enterprises in operation in the southwest of Paraná, studied in this work, do not meet the standards regarding the release of effluents, requiring adjustments to reduce the impacts caused to the environment.

Keywords: milk processing; dimensioning; direct launch; incorporation in soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processamento do leite	14
Figura 2: Consulta Sistema de Gestão Ambiental	17
Figura 3: Sistema de tratamento	18
Figura 4: Relação DBO exercida e remanescente	42
Figura 5: Processamento industrial, laticínio 1, 2, 3 e 4	44
Figura 6: Frascaria e caixa de coleta	45
Figura 7: Sistema de tratamento laticínio 01	51
Figura 8: Sistema de tratamento laticínio 02	53
Figura 9: Sistema de tratamento laticínio 03	54
Figura 10: Sistema de tratamento laticínio 04	55
Figura 11: Distribuição normal	72

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos tipos de lagoas	20
Quadro 2: Parâmetros analisados	47
Quadro 3: Métodos analíticos	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização efluente bruto segundo referências	15
Tabela 2: Grau de eficiência.....	21
Tabela 3: Limites de lançamentos para laticínios	26
Tabela 4: Eficiência lagoa	35
Tabela 5: Tempo de retenção hidráulica	36
Tabela 6: Resultados analíticos	57
Tabela 7: Cálculos vazões.....	58
Tabela 8: Dimensionamento gradeamento	59
Tabela 9: Dimensionamento caixa de gordura.....	61
Tabela 10: Dimensionamento tanque equalização	61
Tabela 11: Dimensionamento lagoa anaeróbica	62
Tabela 12: Dimensionamento lagoa aerada facultativa	63
Tabela 13: Dimensionamento requisito de energia	65
Tabela 14: Dimensionamento biodigestor	66
Tabela 15: Caracterização final efluente tratado por lagoas	67
Tabela 16: Caracterização final efluente tratado por biodigestor	67
Tabela 17: DBO remanescente no tempo t	69
Tabela 18: Simulação cinética primeira ordem	69
Tabela 19: DBO exercida no tempo t	70
Tabela 20: Simulação cinética de segunda ordem	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Cavalos de potência
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCP	Declaração de Carga Poluidora
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EQ	Equação
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FTd	Fator de Toxicidade para <i>Daphnia magna</i>
FTbl	Fator de Toxicidade para <i>Vibrio fischeri</i>
IAT	Instituto Água e Terra
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
MO	Matéria Orgânica
MS	Ministério da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
TRH	Tempo de retenção hidráulica
SMWW	Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivo específico	12
3	REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1	Indústria láctea	13
3.1.1	Leite	13
3.1.2	Processamento do leite	13
3.1.3	Caracterização do efluente	15
3.1.4	Importância e impactos econômicos e sociais da indústria láctea no sudoeste do Paraná	16
3.2	Tratamento de efluentes nos laticínios	17
3.2.1	Tratamento preliminar e primário	18
3.2.2	Tratamento secundário por lagoas de estabilização	19
<u>3.2.2.1</u>	<u>Lagoas anaeróbicas</u>	<u>21</u>
<u>3.2.2.2</u>	<u>Lagoas aeróbicas facultativas e lagoas de polimento</u>	<u>21</u>
3.2.3	Biodigestor como tratamento alternativo ao tratamento secundário em lagoas	22
3.2.4	Tratamento terciário e pós-tratamento	23
3.3	Destinação final	24
3.3.1	Lançamento direto	24
3.3.2	Incorporação em solo agrícola	25
3.4	Legislação	25
3.5	Dimensionamento	28
3.5.1	Dimensionamento tratamento preliminar	28
<u>3.5.1.1</u>	<u>Dimensionamento gradeamento</u>	<u>29</u>
<u>3.5.1.2</u>	<u>Dimensionamento caixa de gordura</u>	<u>32</u>
<u>3.5.1.3</u>	<u>Dimensionamento calha parshall</u>	<u>33</u>
3.5.2	Dimensionamento tratamento primário	33
3.5.3	Dimensionamento tratamento secundário	34
<u>3.5.3.1</u>	<u>Dimensionamento lagoa anaeróbica</u>	<u>34</u>
<u>3.5.3.2</u>	<u>Dimensionamento lagoa aeróbica</u>	<u>36</u>
3.5.4	Dimensionamento do biodigestor em alternativa ao tratamento secundário biológico em lagoas	38

3.5.5	Simulação cinética	40
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	Descrição do sistema de tratamento de efluentes em operação nos empreendimentos.....	43
4.2	Procedimento de coleta e conservação das amostras	44
4.3	Análises laboratoriais.....	46
4.4	Comparação dos resultados	49
4.5	Procedimento de identificação e elaboração das propostas de adequação	49
4.6	Análise estatística.....	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1	Análises dos sistemas de tratamentos dos laticínios	51
5.1.1	Laticínio 1	51
5.1.2	Laticínio 2	52
5.1.3	Laticínio 3	53
5.1.4	Laticínio 4	54
5.2	Comparação dos resultados laboratoriais	56
5.3	Dimensionamento	58
5.3.1	Dimensionamento gradeamento	59
5.3.2	Dimensionamento caixa de gordura.....	60
5.3.3	Dimensionamento calha parshall	61
5.3.4	Dimensionamento tratamento primário	61
5.3.5	Dimensionamento lagoa anaeróbica	62
5.3.6	Dimensionamento lagoa aerada facultativa	63
5.3.7	Dimensionamento requisito energia	65
5.3.8	Dimensionamento biodigestor em substituição ao tratamento biológico secundário em lagoas	66
5.3.9	Pós-tratamento.....	67
5.4	Decaimento cinético	68
5.5	Análise estatística.....	71
6	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXO A - Ofício nº 22/2021 – PPGEA-FB	83

1 INTRODUÇÃO

A cada dia que se passa, cresce o número de pesquisas e trabalhos relacionados as questões ambientais, tais como os impactos ambientais causados pela implementação de determinada atividade ou então potencial poluidor da mesma. Dentre as atividades industriais com alto potencial poluidor, destaca-se as indústrias de processamento de leite, popularmente denominadas de laticínios (RAGHUNATH *et al.*, 2016).

Além do impacto ambiental, esses empreendimentos exercem um papel social e econômico de grande impacto, uma vez que geram empregos e renda na região onde se instalaram. Na região Sudoeste do Paraná, conforme consulta ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA), 2022 do órgão ambiental estadual, somente o município de Francisco Beltrão, possui 85 dispensas de licenciamento estadual para criação de bovinos para produção de leite, tal modalidade de licenciamento caracteriza uma produção familiar e de pequeno porte.

Segundo dados da Produção da Pecuária Municipal (BRASIL, 2020b), o estado do Paraná ocupa a terceira posição dentre os maiores produtores de leite do Brasil, perdendo somente para Minas Gerais (1º) e Goiás (2º). Dentro do estado do Paraná, a região Sudoeste ganha destaque quando comparada as demais regiões, sendo apontada segundo dados Agência Estadual de Notícias (AEN, 2016) como a maior bacia leiteira do Paraná.

Ainda segundo dados da Agência, a região Sudoeste como um todo possui cerca de 40 laticínios instalados e operando. Esses empreendimentos processam cerca de um bilhão e 200 milhões de litros de leite por ano, gerando no mínimo o dobro em efluentes industriais, uma vez que, de acordo com resolução CEMA 070 de 01 de outubro de 2009, anexo VII, cada litro de leite processado gera de dois a cinco litros de efluente (PARANÁ, 2009).

Regionalmente o processamento de leite e produção dos seus derivados é uma das atividades industriais mais difundidas, tendo em vista a grande geração de leite pelos agricultores. De acordo com Pokrywiecki *et al.*, (2013) e Silva, Siqueira e Nogueira (2018) os laticínios possuem alto potencial poluidor, de difícil quantificação devido a variação diária da composição dos efluentes líquidos, emissões atmosféricas ou geração de resíduos sólidos.

Quando se trabalha com o tratamento desses efluentes, de acordo com Silva, Siqueira, Nogueira (2018) e Goli *et al.*, (2019), nos laticínios se aplicam tratamento, composto pela etapa preliminar e primário (gradeamento e caixa de gordura) seguido pelo tratamento secundário (biológico) realizado em lagoas de estabilização. Após passar pelo processo, o efluente agora tratado recebe sua destinação final, que geralmente consiste em lançamento em curso hídrico.

Contudo, sejam por questões locais, viabilidade de lançamento em curso hídrico ou geologia, alguns laticínios não procedem com o lançamento direto, apresentando outra forma de destinação final do efluente, que em grande parte consiste na incorporação em solo agrícola.

Ocorre, no entanto, que as resoluções preveem padrões de lançamento somente para lançamento direto, como é o caso da CONAMA 430 de 13 de maio de 2021 (BRASIL, 2021), razão essa que fez com que a incorporação em solo não fosse fiscalizada pelos órgãos ambientais e acompanhados com a mesma frequência que o lançamento direto.

A comparação entre os empreendimentos que fazem lançamento direto e incorporação em solo, bem como confrontação dos resultados dos resultados analíticos com normas de lançamento estabelecidas foram um dos focos deste trabalho. E em caso de não atendimento, projetou-se um novo sistema de tratamentos de efluentes para as os empreendimentos estudados, de modo a garantir redução dos parâmetros monitorados às concentrações de lançamento estabelecidas em legislações vigentes.

O projeto consistiu em um redimensionamento dos sistemas atuais, implementando sistemas de pré-tratamento, tratamento primário e secundário elaborados com base na vazão do empreendimento e caracterização do efluente produzido. Para tal, usou-se a bibliografia de referência quanto ao dimensionamento visando a redução de carga orgânica em efluentes, sendo usado como base Metcalf & Eddy (2016) e Spelling (1996; 2002; 2017).

Portanto, neste trabalho buscou-se desenvolver uma alternativa por meio de dimensionamento, visando atendimento aos padrões de lançamentos de efluentes estabelecidos por resoluções vigentes, para laticínios localizados na região Sudoeste do Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar e comparar os métodos de tratamento de efluente gerado em laticínios da região Sudoeste do Paraná, relacionando com o modo de destinação final do efluente tratado e propor um dimensionamento para cada laticínio estudado.

2.2 Objetivo específico

- Caracterizar o efluente líquido gerado em laticínios por meio de análises dos parâmetros: DBO, DQO, óleos animais e gorduras vegetais, toxicidade *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*.
- Descrever e comparar os métodos de tratamento de efluentes utilizados por laticínios da região Sudoeste do Paraná, conforme o lançamento direto e incorporação em solo.
- Verificar a eficiência dos métodos de tratamento de efluentes dos laticínios contrapondo com sua destinação final.
- Dimensionar sistemas de tratamento de efluente para os laticínios estudados, utilizando diferentes métodos de tratamento.
- Simular a aplicação dos modelos cinéticos de primeira e segunda ordem para remoção de DBO, a fim de verificar qual modelo descreve de forma adequada a degradação obtida.
- Avaliar se os dados experimentais apresentam distribuição normal por análise estatística.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Indústria láctea

Neste tópico se abordará a importância e o funcionamento da indústria láctea, sendo essa uma das mais importantes para a economia do estado do Paraná, possuindo um grande destaque também na economia da região Sudoeste, a qual possui característica agrícola e de criação de bovinos.

3.1.1 Leite

O leite é uma matéria-prima de origem animal, advinda de diversos animais classificados como mamíferos. Sua produção ocorre em ambientes rurais, por meio do confinamento e criação desses animais. Em especial, se destaca o cultivo do leite a partir da bovinocultura leiteira. Após ser retirado do animal, o leite é armazenado e vendido para empresas especializadas no processamento, servindo como base para fabricação de diversos produtos, tais como: sorvete, bolos, manteiga, queijos e etc (SILVA e EYNG, 2012).

Segundo Souza et al. (2021), a guinada no processo de produção do leite no Brasil ocorreu em 2013, onde se produziu cerca de 34,3 milhões de toneladas de leite *in natura*, sendo o quarto maior produtor mundial. Corroborando com isso, de acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o leite é responsável por cerca de 5,8 % do valor bruto da produção agropecuária no país (BRASIL, 2020a).

De acordo com Amorim (2014), a região Sul é a segunda maior produtora de leite do Brasil, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística apontavam que na época, a região era responsável pela produção de 37 %. Hoje, conforme pesquisa da Produção da Pecuária Municipal (BRASIL, 2020b), a região Sul é responsável por cerca de 34% da produção, ficando atrás somente da região Sudeste.

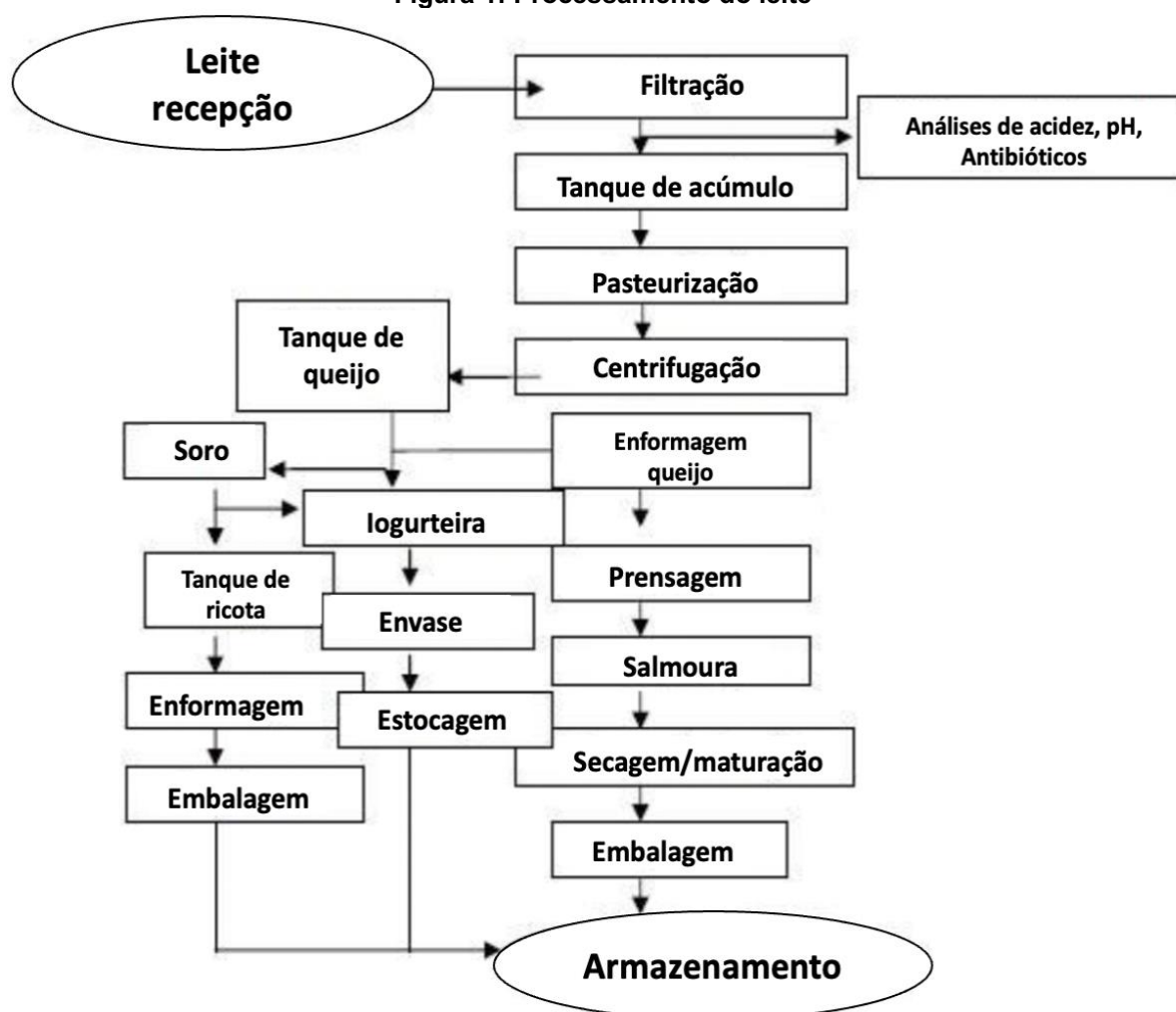
3.1.2 Processamento do leite

Após produção e retirada do leite do animal, esse fica estocado no produtor rural até que ocorra o transporte para o empreendimento onde será realizado o processamento. O transporte geralmente é feito por caminhões específicos para esse fim. Vale lembrar que desde a estocagem, até a recepção no empreendimento, o leite deve ser resfriado a fim de inibir atividade biológica (VIDAL e NETTO, 2018).

Após chegar na indústria, o produto é recepcionado e passa por algumas análises iniciais. Sendo comprovado a qualidade do leite, segue para o processo produtivo conforme representado na Figura 1.

O fluxograma operacional não é único, pois depende do produto fabricado pela empresa: queijo, iogurte, soro, leite resfriado; sendo que cada um possui uma peculiaridade, contudo a base operacional é basicamente a mesma, alterando algumas etapas produtivas (SILVA e EYNG, 2012).

Figura 1: Processamento do leite



Fonte: Silva e Eyng (2012)

Devido a operação da indústria, efluentes líquidos são gerados. A resolução CEMA nº 070 de 2009 em seu anexo VII (PARANÁ, 2009), prevê gerações de efluente distintas de acordo com o produto elaborado, contudo, devido aos avanços tecnológicos e otimizações dos processos fabris, a geração de efluente acaba sendo inferior aos valores estabelecidos pela resolução. Em seu trabalho, Silva, Siqueira,

Nogueira (2018) propõem uma geração de 2,5 L de efluente para cada litro de leite processado.

Para Souza (2019) e Teixeira (2020), a geração de efluentes líquidos nesses empreendimentos é variada, mas advém principalmente da lavagem de equipamentos e instalações, esgoto sanitário, soro e lavagem dos caminhões.

3.1.3 Caracterização do efluente

Devido a grande diversidade de efluentes gerados nos laticínios, bem como a não continuidade na geração diária, uma vez que depende de fatores como recepção, operação da indústria, produto fabricado e demais fatores, a padronização da caracterização desses efluentes se torna complicada, contudo, o alto teor de matéria orgânica nesses efluentes é uma característica comum (RAGHUNATH *et al.*, 2016).

Segundo Borges, Costa e Gontijo (2019), o intuito do sistema de tratamento consiste na redução dos níveis da Matéria orgânica (MO) até valores aceitáveis, para que depois o efluente tratado obtenha sua destinação final, sofrendo a autodepuração, no caso de lançamento em cursos hídricos.

Em sua pesquisa ainda, Gomes *et al.* (2017) encontraram médias de pH bruto de 10, o que indica um pH básico, demais dados são representados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização efluente bruto segundo referências

DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)	Óleos e Graxas (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Fonte
684	431	57	2.262	GOMES <i>et al.</i> , 2017
3698	1067	278	896	BORGES, COSTA e GONTIJO 2019

Fonte: Autoria própria (2022)

Borges, Costa e Gontijo (2019), defendem que para implementação de um sistema adequado para tratamento de efluente, a caracterização do afluente se faz de extrema necessidade para adoção do método correto. O autor define o efluente com característica esbranquiçada e aspecto oleoso.

Comparando as duas pesquisas, pode-se observar que, embora o efluente advenha de empresas de processamento de leite, cada uma apresenta suas características, variando assim de processo para processo.

Porém, é possível observar as altas taxas de MO, óleos e sólidos no efluente (RAGHUNATH *et al.*, 2016), sendo assim parâmetros intrínsecos e que devem ser levados em consideração na concepção de qualquer projeto.

Ambas as pesquisas trabalharam também com parâmetros ambientais, exigidos pelos seus respectivos órgãos ambientais competentes, possuindo algumas peculiaridades, como alguns parâmetros específicos, porém pode-se observar que em geral, são estabelecidos parâmetros semelhantes, como DBO, DQO, óleos e sólidos (MORAIS e SANTOS, 2019).

Para caracterização do efluente, devido a sua diversidade e variabilidade de acordo com o processo, ainda que internamente, faz-se necessário a realização de análises físico-químicas, para que, em posse dessas informações, possa se estabelecer um projeto que atenda a demanda da empresa, bem como os requisitos ambientais legais (BORGES, COSTA E GONTIJO, 2019).

3.1.4 Importância e impactos econômicos e sociais da indústria láctea no sudoeste do Paraná

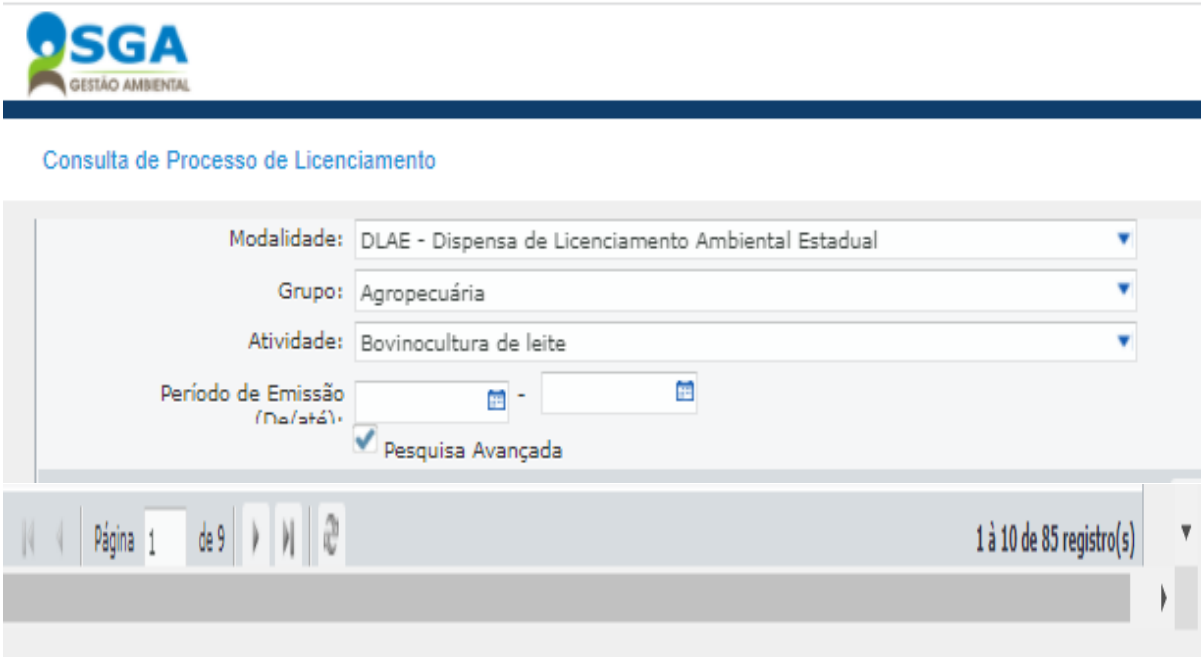
Conforme já exposto, a Agência Estadual de Notícias (AEN, 2016) apontou a região Sudoeste como a maior bacia leiteira do Paraná, tal fato pode ser observado, quando considerado os investimentos para instalações de laticínios de grande porte na região, como é o caso da Piracanjuba, a qual está fazendo um investimento inicial de 80 milhões de reais, para instalação da maior fábrica de queijos do Brasil, a ser instalada no município de São Jorge d'Oeste (JORNAL DE BELTRÃO, 2020).

De fato, quando se observa a vasta quantidade de produtores de leite na região, se verifica a importância da atividade. Segundo dados de consulta pública do Sistema de Gestão Ambiental do IAT (2022), somente o município de Francisco Beltrão, localizado no Sudoeste do Paraná, possui 85 registros de Dispensa de Licenciamento Ambiental para bovinocultura leiteira.

Muito embora tal dado possa não apresentar importância diretamente, uma vez que o leite produzido pode ser transportado e processado em outras regiões, é um indicativo da importância social da indústria do leite uma vez que serve como geração de emprego e renda, bem como fonte de renda, uma vez que conforme Paraná, 2021, para obtenção dessa modalidade de licença o empreendimento poderá possuir até 10 funcionários.

Além disso, segundo Agência Estadual de notícias (2016), a indústria do leite produz no Paraná cerca de 12 milhões de litros de leite por dia e 4,4 bilhões de litros por ano, gerando vários empregos e renda.

Figura 2: Consulta Sistema de Gestão Ambiental



The screenshot displays the 'Consulta de Processo de Licenciamento' (Licensing Process Query) interface. It features several search filters: 'Modalidade' (Modality) set to 'DLAE - Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual', 'Grupo' (Group) set to 'Agropecuária', and 'Atividade' (Activity) set to 'Bovinocultura de leite'. There is a 'Período de Emissão (De/até):' field with calendar icons and a checked 'Pesquisa Avançada' (Advanced Search) option. At the bottom, a pagination bar shows 'Página 1 de 9' and '1 à 10 de 85 registro(s)'. The SGA logo is visible in the top left corner.

Fonte: Sistema de Gestão Ambiental (2022)

3.2 Tratamento de efluentes nos laticínios

O efluente gerado em detrimento do funcionamento de um laticínio, possui como características, altas taxas de proteínas, matéria orgânica, óleos, gorduras e sólidos, gerando por consequência altas taxas de DBO e DQO (JUNHO *et al.*, 2021) os quais segundo legislação vigente, demandam de tratamento a fim de redução em níveis aceitáveis para que enfim, seja feita a destinação final.

Dunoyer, Cuello e Salinas (2020), afirmam que o tratamento biológico é uma via muito utilizada para tratamento de águas residuais, para remoção de resíduos ricos em gordura e matéria orgânica.

A Figura 3, retirada do trabalho de Souza *et al.* (2021) exemplifica as etapas envolvidas no processo de tratamento de efluentes líquidos de uma empresa de laticínio, a qual consiste de uma etapa preliminar, onde se utilizam meios mecânicos e físicos para remoção de sólidos grosseiros e gorduras advindas da tubulação de captação.

Figura 3: Sistema de tratamento



Fonte: Souza et al., (2021)

Na sequência ocorre as etapas primárias e secundárias, onde os níveis de MO são reduzidos, mediante tratamento em lagoas de tratamento e havendo o tempo de retenção hidráulica (TRH) ideal, controle biológico e demais condições, a carga orgânica é reduzida para níveis aceitáveis (JOSHIBA *et al.*, 2019).

Por fim, na etapa terciária, ocorre o tratamento de poluentes específicos, como nutrientes (RAGHUNATH *et al.*, 2016), contudo, essa etapa ainda não é muito implementada em empreendimentos lácteos da região, ocorrendo normalmente a construção e uma lagoa com alta área superficial e baixa profundidade, para que ocorra a ação de oxidação devido aos raios solares.

3.2.1 Tratamento preliminar e primário

Souza *et al.* (2021) classificam a etapa preliminar como a fase em que os sólidos grosseiros, óleos e graxas são tratados e retirados do processo, por meio de mecanismos como gradeamento, peneiramento e sedimentação, caixa de areia, sendo precedido pela instalação de um medidor de vazão.

Para isso, faz necessário um acompanhamento constante, promovendo a limpeza das caixas e retirada da gordura separada na caixa, a qual deve ser armazenada em local adequado até que ocorra sua destinação final. O pré-tratamento

promove a retirada de óleos, gorduras e ácidos graxos de cadeia longa, antes de serem descarregados nas etapas posteriores (DUNOYER; CUELLO; SALINAS, 2020).

Os processos primários se misturam muito com os preliminares, porém de acordo com Silva *et al.* (2019) consistem da utilização de técnicas como floculação e sedimentação para retirada de sólidos flutuantes, gerando ao final do processo o lodo primário.

Silva e Eying (2012) misturam a concepção de tratamento preliminar e primário em uma única etapa, a qual consiste das mesmas operações unitárias e visa a concepção de substâncias mais grosserias, mediante processos físicos.

Ainda segundo Sperling (2017) o ângulo de gradeamento recomendado é de 45° e os TRH recomendáveis para cada etapa são respectivamente:

Caixa de separação: 2 horas;

Caixa de gordura: 3 horas;

Decantador: 6 horas.

Sendo o volume de cada equipamento determinado em função do TRH e da vazão de operação.

3.2.2 Tratamento secundário por lagoas de estabilização

A etapa de tratamento secundária segundo Metcalf & Eddy (2016), consiste na aplicação de operações unitárias químicas e biológicas, para que ocorra diminuição da matéria orgânica biodegradável em solução ou suspensão. Nos laticínios existentes na região, é amplamente difundido o tratamento mediante sistema de lagoas, as quais podem possuir características aeróbicas, anaeróbicas ou facultativas.

Geralmente, empreendimentos mais antigos costumam apresentar lagoas sem impermeabilização por geomembranas, podendo assim ocasionar contaminação do solo e em alguns casos dos lençóis subterrâneos em detrimento da infiltração do efluente com alta carga de MO devido ao coeficiente de infiltração do solo (SPERLING, 1996).

Solos com coeficiente de infiltração, determinados conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Norma Brasileira (NBR) 13.969 de 1997, com valores maiores que 10^{-6} m/s indicam um solo permeável, sendo recomendado a aplicação de geomembrana no fundo e lateral das lagoas.

De acordo com Joshiba *et al.*, (2019) outros métodos de tratamento secundário, como reatores biológicos, biodigestores, sistemas de lodo ativado, envolvem custos maiores de implementação e operacionalização, não sendo, portanto, uma tecnologia muito empregada nos empreendimentos locais.

Segundo a Sperling (2017) as lagoas anaeróbias possuem perfil construtivo mais profundo (3,5 a 5 m), uma vez que a atividade biológica ocorre na ausência de oxigênio e dependendo da eficiência do processo removem cerca de 60 % da MO.

As lagoas aeróbias, possuem perfis construtivos menos profundos (1,5 a 3 m) a fim de favorecer processos aeróbicos na superfície. Para funcionamento correto dessas lagoas, é comum fazer o uso de aeradores, os quais aumentam a carga de oxigênio da lagoa, quando não há instalação dos aeradores, essas lagoas passam a ter características facultativas (SPERLING, 2017), ainda na mesma obra o autor aborda e diferencia cada tipo de lagoa em função da sua operacionalidade e requisitos de área, podendo ocorrer combinações entre os dois tipos.

Adaptando o trabalho de Sperling (2002), o Quadro 1 resume as vantagens e desvantagens de cada tipo de lagoa. Segundo o autor, a forma mais usual para construção dessas lagoas é a sua posição em série, sendo a primeira lagoa a que recebe o efluente, a segunda usualmente aeróbia recebe o efluente da primária e a terciária destinada a maturação.

Quadro 1: Vantagens e desvantagens dos tipos de lagoas

Sistema de tratamento	Vantagens	Desvantagens
Lagoa facultativa	Boa remoção de DBO; razoável remoção patógenos; Baixo custo de implementação e operação.	Maior área; Possível necessidade de remoção de algas.
Lagoa anaeróbica seguida de facultativa	Idem lagoa facultativa; Demanda área inferior.	Idem lagoa facultativa; Odores indesejados; Remoção de lodo anualmente.
Lagoa aerada	Construção, operação e manutenção simples; Área ainda menor que anterior; Redução de odores.	Necessidade de equipamentos; Aumento da complexidade; Demanda energética elevada.
Lagoa aerada seguida de decantação	Idem lagoa aerada; Menor exigência de área entre todas as lagoas.	Idem lagoa aerada; Alta decantação de lodo (remoção de 2 a 5 anos).
Lagoa de maturação	Alta eficiência tratamento de patógenos; Razoável eficiência remoção de nutrientes.	Idem item precedente; Alta demanda de área.

Fonte: Adaptado de Sperling (2002)

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), possui em seus manuais, a taxa de eficiência na redução de cada parâmetro, de acordo com a forma de tratamento aplicado. As quais são expostos na Tabela 2, adaptada da obra de Amorim (2014).

Tabela 2: Grau de eficiência

Tipo de tratamento	Remoção de DBO (%)	Remoção de sólidos suspensos (%)	Remoção de nutrientes (%)
Preliminar	5 -10	5 – 20	Não remove
Primário	25 – 50	40 – 70	Não remove
Secundário	80 – 95	65 – 95	Pode remover
Terciário	40 – 99	8 – 99	Até 99

Fonte: Adaptado de Amorim (2014)

3.2.2.1 Lagoas anaeróbicas

De acordo com Sperling (2017), para correto funcionamento de uma lagoa anaeróbica, a operação deve ocorrer na ausência de oxigênio e presença de altas taxas de matéria orgânica, razão pela qual, usualmente a lagoa anaeróbia costuma vir por primeiro nos sistemas implementados.

Devido a ausência de oxigênio, é comum formar nessas lagoas, gases causadores de odores desagradáveis. Para evitar tal fato, é recomendado manter o pH da lagoa em 7,3. Para construção dessas lagoas deve-se observar o tempo de retenção, profundidade e taxa de aplicação volumétrica. Estabelece-se um tempo de retenção de 3 a 6 dias, sendo o volume da lagoa calculado em função da vazão do efluente e tempo de retenção (SPERLING, 2017).

A taxa de aplicação volumétrica, muda de acordo com a temperatura, porém Metcalf & Eddy (2016) sugerem valores no intervalo de 0,1 a 0,3 kg DBO₅/m³.dia. Sendo assim, o volume requerido se dá pela razão da carga orgânica no afluente pela taxa de aplicação, enquanto a área é calculada em função do volume requerido e da profundidade da lagoa.

3.2.2.2 Lagoas aeróbicas facultativas e lagoas de polimento

Segundo Sperling (2017) a diferença de uma lagoa facultativa, para uma lagoa aerada se dá na forma de obtenção do oxigênio, enquanto na primeira ocorre de

maneira natural devido a fotossíntese, na segunda o oxigênio é injetado por meio artificial, pelo uso de aeradores.

Embora ocorra aeração, grande parte do lodo sedimenta, formando assim uma base no fundo onde ocorrerá atividade anaeróbia, fazendo assim com que a lagoa não seja totalmente aeróbia (JOSHIBA *et al.*, 2019).

Lagoas aeradas e/ou facultativas costumam apresentar profundidades menores quando comparadas com lagoas anaeróbias, sendo recomendado profundidades de 1,5 a 3 m. A literatura recomenda ainda um TRH de 20 dias, caso não ocorra aeração e 2 a 4 dias, caso ocorra aeração mecânica (METCALF & EDDY, 2016).

Sperling (2017) estabelece o dimensionamento de acordo com a carga orgânica do efluente, de maneira análoga ao item 3.2.2.1, nessa lagoa a carga orgânica é inferior uma vez que já passou por um tratamento.

A demanda de oxigênio requerida, se dá em função do requisito, Sperling (2017) estabelece em sua obra que, para climas tropicais de 2,5 kgO₂/kgDBO, considerando então a DBO após saída da primeira lagoa e multiplicando pela vazão, determinamos a carga de DBO.

Multiplicando então pelo requisito de O₂ para região tropical, determina-se a demanda de oxigênio, dado que servirá para escolha do aerador com base na sua potência (SPERLING, 2017). Considera-se também para projeto, a demanda de O₂ para nitrificação, contudo, não é parâmetro cobrado pela legislação estadual.

As lagoas de polimento, segundo a metodologia de Sperling (2017), visam a redução e tratamento de substâncias mais finas devido a ação da radiação do sol, tendem a ter profundidade média de 1 m e o TRH de 7 dias.

3.2.3 Biodigestor como tratamento alternativo ao tratamento secundário em lagoas

Com o passar do tempo, processos que proporcionam ganho vêm surgindo, como é o caso dos biodigestores com geração de energia elétrica, os quais proporcionam a realização de um tratamento, redução ainda maior de alguns composto e agregam valor aos sistemas de tratamento devido a geração de energia limpa (KISPERGHER, 2013).

Segundo Alves *et al.* (2021), os biodigestores são equipamentos em crescente implementação, que conciliam a reciclagem de resíduos agropecuários com a geração

de energia, por meio de uma digestão anaeróbica, gerando como subprodutos gás com alta concentração de metano e uma matéria orgânica chamada de biofertilizante.

Tal fato pode ser observado pela recente publicação da resolução SEDEST nº 8 de 23 de setembro de 2021, (PARANÁ, 2021), estabelecendo definição, diretrizes e procedimentos para licenciamento ambiental de biodigestores com aproveitamento energético de biogás no estado, o que chama a atenção no texto, é o fato da mesma prever licenciamento por meio de dispensa de licenciamento ambiental para empreendimento de até médio porte, demonstrando um incentivo a implementação dos equipamentos por meio de procedimentos menos complicados e mais rápidos.

3.2.4 Tratamento terciário e pós-tratamento

O tratamento terciário não é, muitas vezes, aplicado no tratamento de efluentes de indústrias de laticínios, uma vez que métodos tradicionais conseguem atender a legislação ambiental. Contudo Souza *et al.* (2021) afirmam que o processo é utilizado mediante processos de osmose reversa e eletrolítica, microfiltração, ozonização ou oxidação.

De modo geral, o tratamento terciário visa a remoção de componentes específicos, como matéria orgânica, nutrientes, metais pesados ou compostos não biodegradáveis, sendo projetado e elaborado de acordo com as características do efluente bruto da empresa, podendo envolver processos físico-químicos ou então biológicos (SOUZA *et al.*, 2021).

Raghunath *et al.* (2016) afirmam em seu trabalho que para empreendimentos que fazem o processamento do leite, se faz necessário a implementação de tratamento complementar para atendimento as demandas de lançamento, devido as grandes quantidades de nutrientes (nitrogênio e fósforo), tais nutrientes em quantidades excessivas no curso hídrico, podem promover o crescimento de plantas e algas.

Os empreendimentos locais costumam não possuírem esta etapa de tratamento, uma vez que conforme supracitado, para laticínios o tratamento terciário visa a remoção de nutrientes e como no anexo VII da resolução CEMA 070 de 2009, (PARANÁ, 2009), fósforo e nitrogênio não são parâmetros com padrão de lançamento estabelecido, acabam não sendo monitorados.

Contudo, a resolução CONAMA 430 de 2011, estabelece padrões de lançamento para tais substâncias (BRASIL, 2011) e por se tratar de uma legislação federal se sobrepõem a legislação estadual.

Galvão e Gomes (2018) em sua obra avaliaram um pós tratamento utilizando um bioretar com membranas para micro e ultrafiltração, desenvolvido e projetado por Pam membranas (2022), alcançando eficiência acima de 90% para DQO e DBO, o equipamento vendido e projetado de acordo com as condições operacionais do empreendimento.

3.3 Destinação final

O destino final do efluente líquido gerado pela empresa, após tratamento pode ser feito de diversas formas, como por exemplo: lançamento em curso hídrico (lançamento direto), incorporação em solo agrícola e reaproveitamento no processo (operação em regime fechado, sendo o efluente reaproveitado pela empresa em alguma etapa do processo), dentre outros (RAGHUNATH *et al.*, 2016).

3.3.1 Lançamento direto

A definição de lançamento direto, pode ser encontrada na resolução CONAMA nº 430 de 2011, (BRASIL, 2011), em seu art. 4º, parágrafo IX, que diz “Lançamento direto: quando ocorre a condução direta do efluente ao corpo receptor”.

Portanto, o lançamento direto, é a forma de destinação final na qual o efluente é lançado diretamente em curso hídrico, para tal, faz-se necessário primeiramente autorização para lançamento mediante licenciamento de outorga de direito de uso para lançamento, conforme estabelece a Lei Estadual 12.726 de 1999 (PARANÁ, 1999) e resolução CEMA 070 de 2009, (PARANÁ, 2021).

Em nível estadual, as empresas que procedem com o lançamento de seus efluentes em cursos hídricos, devem obrigatoriamente monitorar o efluente, realizando análises periódicas e apresentado os resultados para o órgão ambiental competente até a data de 31 de março do ano subsequente.

Tal obrigatoriedade se dá em função da existência da portaria IAP nº 256 de 2013 (PARANÁ, 2013), a qual aprova e estabelece os critérios e exigências para a apresentação da Declaração de Carga Poluidora – DCP. A frequência de

monitoramento é estabelecida de acordo com a vazão do efluente e carga (kg DBO₅/dia).

3.3.2 Incorporação em solo agrícola

A definição de incorporação do efluente em solos agrícolas não é encontrada na resolução CONAMA nº 430 de 2011 (BRASIL, 2011), porém consiste na forma de destino em que o efluente não é lançado diretamente no curso hídrico, mas sim incorporado em solo para que haja aproveitamento dos nutrientes e matérias presentes no efluente.

Com tempo esse efluente poderá atingir o curso hídrico devido a processos de lixiviação. Tal forma de destino não é passível de autorização mediante emissão de outorga, bem como não se aplica o disposto na portaria IAP nº 256 de 2013, (PARANÁ, 2013) referente a apresentação da DCP.

Neste ponto, vale ressaltar que os parâmetros da resolução CONAMA 430 de 2011 (BRASIL, 2011) não são aplicáveis para a incorporação no solo, somente para o direto, entretanto, a resolução CEMA nº 070 de 2013, (PARANÁ, 2019) estabelece critérios para o lançamento direto e incorporação em solo, possuindo, portanto, aplicabilidade para as duas formas de lançamento.

Recentemente, a resolução CONAMA 503 de 2021, trouxe critérios e definições para a incorporação de efluentes em solo agrícola, bem como para a fertirrigação de efluentes indústrias (BRASIL, 2021). Tal resolução é melhor detalhada no item 3.4.

3.4 Legislação

Se tratando das legislações tanto em nível estadual como em nível nacional que envolvem o lançamento de efluentes tratados em cursos hídricos ou em solo, estabelecem limites e características de lançamentos se tem a resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA nº 070, (PARANÁ, 2009), a qual traz em seu anexo VII características específicas para o lançamento de efluentes provenientes da indústria láctea, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011) e 503 (BRASIL, 2021) e a resolução da Secretária de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná SEDEST nº 8 (PARANÁ, 2021).

- Resolução Conselho Estadual do Meio Ambiente nº 070 (PARANÁ, 2009): Essa resolução possui competência em âmbito estadual e fora elaborado pelo conselho no ano de 2009. Em seu anexo VII, item 3, são apresentados os parâmetros de monitoramento para lançamento de efluentes líquidos industriais de laticínios, bem como os limites de lançamento, que são respectivamente: DBO₅: 50 mg O₂/L, DQO: 200 mg O₂/L, Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L, Óleos minerais: até 20 mg/L, fator de toxicidade - FTd para *Daphnia Magna*: 8 (12,5 %) e fator de toxicidade - FTbl para *Vibrio fischeri*: 8 (12,5 %).

Esta resolução possui aplicação para o lançamento direto ou incorporação em solo nos corpos hídricos, ou seja, os padrões e limites de lançamentos devem ser atendidos tanto por empreendimentos que fazem o lançamento direto em rios bem como os que não fazem.

Os padrões de lançamento são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Limites de lançamentos para laticínios

Parâmetro	Limite de lançamento	Unidade de medida
DBO ₅	50	mg/L
DQO	200	mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	50	mg/L
Toxicidade <i>Daphnia magna</i>	8	FTd
Toxicidade <i>Vibrio fischeri</i>	8	FTbl

Fonte: Resolução CEMA 070, anexo VII (2009)

- Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - nº 430 (BRASIL, 2011): A resolução CONAMA nº 430 de 2011, possui competência em nível nacional, e fora elaborado pelo conselho nacional no ano de 2011, esta resolução delibera sobre os padrões e parâmetros de lançamento de efluentes em corpos de águas receptores. A presente resolução é bem clara em seu art. 2º quando diz “A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução”. Sendo os parâmetros e níveis de pH entre 5 a 9, temperatura: inferior a 40 °C, materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone *Inmhoff*, óleos minerais: até 20 mg/L, óleos vegetais e gorduras animais:

até 50 mg/L, demanda bioquímica de oxigênio: remoção mínima de 60 % de DBO.

Além disso, a resolução estabelece limites para o lançamento de nitrogênio amoniacal, que deve ser de 20,0 mg/L, tal parâmetro não é estabelecido na resolução CEMA 070 (PARANÁ, 2009).

A presente resolução não pode ser aplicada diretamente quando se trata da incorporação do efluente em solo. Observando a ausência de normativas sobre tal forma de lançamento, o conselho lançou recentemente a resolução CONAMA nº 503, a qual estabelece normas específicas para tal fim.

- Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 503 (BRASIL, 2021): Outra resolução de competência federal, a CONAMA nº 503 de 2021, define critérios e procedimento para sistema de fertirrigação de efluentes industriais, em seu art. 4º é estabelecido que o efluente deve atender os padrões da resolução CONAMA nº 430 de 2011, apresentados no item 3.4.2.

Esta resolução, embora recente, começa a estabelecer critérios e diretrizes visando a normatização deste tipo de destinação final do efluente, possibilitando aos órgãos competentes em nível estadual e municipal, possam começar deliberar sobre o assunto e criar suas próprias normativas.

- Resolução Secretária Estadual do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do estado do Paraná nº 8 (PARANÁ, 2021): Resolução elaborado em nível estadual, pela secretária do estado a SEDEST nº 8 de 2021, regulamenta as questões de licenciamento ambiental para instalação de biodigestores, a norma classifica os biodigestores por tipo de acordo com a classificação do empreendimento, sendo o tipo I biodigestores implantados e licenciados junto ao empreendimento principal para tratamento de efluente da planta, tipo II biodigestores que visam geração de energia em equipamentos a serem implantados ou em operação, vinculados ou não a um empreendimento principal, tipo III biodigestores que serão implementados em empreendimentos já licenciados com aproveitamento energético mediante utilização de efluente próprio e tipo IV biodigestores que serão implementados em empreendimentos já

licenciados com aproveitamento energético mediante utilização de efluente de terceiros.

Para classificação do porte se observam características como, capacidade de utilização do biogás e capacidade de tratamento de efluente, podendo o licenciamento ser do tipo simplificado ou então trifásico.

Embora seja recente, se observa na resolução um incentivo a implementação destes equipamentos como forma de tratamento de resíduos na agropecuária, uma vez que possibilita a reciclagem dos resíduos e geração de energia, quando for o caso. O incentivo se dá mediante licenciamento simplificado e apoio de outras entidades, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

3.5 Dimensionamento

3.5.1 Dimensionamento tratamento preliminar

Como já citado no item 3.2.1., o tratamento preliminar visa eliminação das matérias grosseiras e corpos sólidos de maior tamanho, sendo feito por métodos de gradeamento e peneiramento. Em laticínios ainda, é comum a existência de uma caixa para remoção de gordura (SILVA e EYNG, 2012), a qual geralmente não é encontrada em demais sistemas de tratamento.

Inicialmente se faz necessário determinação das vazões dos empreendimentos e conversões de acordo com as unidades de medidas requeridas para aplicação em cada equação. Para determinação das vazões utilizou-se as equações 1 e 2.

$$Q = \frac{V_{ef}}{t} \quad (1)$$

$$V_{ef} = V_{lei} * E_g \quad (2)$$

Onde:

Q = Vazão (m³/dia);

V_{ef} = Volume de efluente gerado pelo laticínio em um dia (m³);

t = Tempo (dia);

V_{lei} = Volume de leite recebido por dia (m³);

E_g = Quantidade de efluente gerado por litro de leite processado (m^3).

3.5.1.1 Dimensionamento gradeamento

Basicamente, segundo Metcalf & Eddy (2016), existem dois tipos de sistemas de grade, as de limpeza manual, as quais são instaladas de maneira perpendicular ao fluxo, com inclinação entre 45° e 60° ou de limpeza mecanizada, com inclinação entre 70° e 90° .

A escolha do tipo da grade se dá em função da vazão do efluente, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas nº 12209 (ABNT, 2011) grades manuais são recomendadas para uma vazão de até 100 L/s, enquanto grades mecanizadas para vazões superiores. Dentre as grades de limpeza manual, as grades de barras ganham destaque, podendo ser do tipo grossas (abertura maior que 6 mm) e finas (abertura entre 0,5 a 6 mm).

O dimensionamento se inicia pela determinação da altura das lâminas de água máxima (vazão máxima do efluente) e mínima (vazão mínima do efluente) na calha parshall, sendo dimensionada com base na vazão no pico de produção industrial utilizando a equação 3 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{1/n} \quad (3)$$

Onde:

H= Altura da lâmina (m);

Q= Vazão (m^3/s);

K= Valor tabelado com base da abertura da calha, fornecido pelo fabricante;

n= Valor tabelado com base da abertura da calha, fornecido pelo fabricante.

Neste trabalho, para obtenção dos dados da calha parshall, considerou-se os dados obtidos pelo fabricante DIGIFLOW (2022). Seguindo o dimensionamento, calcula-se o rebaixo do medidor parshall (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017) pela equação 4.

$$Z = \frac{(Q_{max} * H_{min}) - (Q_{min} * H_{max})}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (4)$$

Onde:

Z = Rebaixo (m);

Q_{\max} e Q_{\min} = Vazão máxima e mínima (m^3/s);

H_{\max} e H_{\min} = Altura da lâmina máxima e mínima (m).

Área útil da grade pela equação 5 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017):

$$A_u = \frac{Q_{\max}}{V} \quad (5)$$

Onde:

A_u = Área útil (m^2);

Q_{\max} = Vazão máxima (m^3/s);

V = Velocidade de passagem (0,6 m/s para caixa de limpeza manual).

A área total é calculada considerando o escoamento à montante da barra pela equação 6 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017):

$$A_t = \frac{A_u}{E} \quad (6)$$

Onde:

A_t = Área total (m^2);

A_u = Área útil (m^2);

E = Eficiência da grade.

E a eficiência da barra é calculada em função da abertura e da espessura pela equação 7 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017):

$$E = \frac{a}{a+t} \quad (7)$$

Onde:

E = Eficiência da grade;

a = Abertura entre as barras;

t = Espessura entre as barras.

A largura do canal (b) onde será instalado a grade é dada pela equação 8 utilizada para sistemas com caixa de areia (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017). Devido a característica do efluente, a caixa de areia será substituída por uma caixa de gordura.

$$b = \frac{A_t}{h_{max}} \quad (8)$$

Onde:

b = Largura do canal (m);

A_t = Área total (m²);

h_{max} = Altura da lâmina antes da caixa (m).

O comprimento da barra (x) é determinado pela equação 9, o acréscimo de 0,10 é feito para garantir que todo efluente passará pela grade (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$x = \frac{h_{max} + h_f + D + 0,10}{\text{sen } \alpha} \quad (9)$$

Onde:

x = Comprimento da barra (m);

h_{max} = Altura da lâmina antes da caixa ($H_{max} - Z$) (m);

h_f = Perda de carga (m);

D = Altura tubulação de alimentação (m);

α = Ângulo de inclinação das grades.

A perda de carga será então calculada pela equação 10 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$h_f = \frac{1}{c} * \frac{V^2 - v^2}{2 * g} \quad (10)$$

Onde:

h_f = Perda de carga (m);

C = Coeficiente empírico para grade (0,7 para grade limpa e 0,6 para suja);

V = Velocidade de fluxo a montante (m/s);

v = Velocidade a montante da grade (m/s);

g = Aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

A velocidade a montante é dada pela equação 11 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$v = \frac{Q_{max}}{A_t} \quad (11)$$

Onde:

v = Velocidade a montante da grade (m/s);

Q_{\max} = Vazão máxima (m³/s);

A_t = Área total (m²).

Definido os parâmetros anteriores, calcula-se então o número de barras existentes no canal, arredondando sempre para o número inteiro acima, em caso de valores fracionados, pela equação 12 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$n = \frac{b}{t + a} \quad (12)$$

Onde:

n = Número de barras;

t = Espessura da barra (m);

a = Espaçamento entre as grades (m).

Segundo Associação Brasileira de Normas Técnicas nº 12209 (ABNT, 2011) o espaçamento deve ser entre 10 a 100 mm, sendo de 40 a 100 mm para grades grossas, 20 a 40 mm para grades médias e 10 a 20 mm para grades finas.

Por fim, o espaçamento entre a parede do canal e as barras externas é calculado pela equação 13 (METCALF & EDDY, 2016; DAVIS *et al.*, 2017).

$$e = b - [(n * t) + (n - 1) * a] \quad (13)$$

Onde:

e = Espaçamento (m);

b = Largura do canal (m);

n = Número de barras;

t = Espessura da barra (m);

a = Espaçamento entre as grades (m).

3.5.1.2 Dimensionamento caixa de gordura

O volume da caixa de gordura é calculado em função da vazão máxima e do tempo de retenção hidráulica (TRH), o qual segundo Sperling (2017) deve ser de 3 horas, o volume da caixa pode ser determinado pela equação 14. Estima-se que essa etapa apresente uma perda de carga de 10 %.

$$V = (Q * TRH) \quad (14)$$

Onde:

V = Volume (m³);

Q = Vazão (m³/h);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (h).

3.5.1.3 Dimensionamento calha parshall

A calha parshall é escolhida de acordo com os valores de vazão máxima e mínimo da indústria, a partir desses valores e tabelas fornecidas pelos fabricantes para cada modelo se escolhe o modelo ideal, sendo os outros valores como abertura e constantes padronizados, procedendo somente com o cálculo da altura das lâminas e do rebaixo da calha, de acordo com as equações 3 e 4.

3.5.2 Dimensionamento tratamento primário

Para o caso das indústrias lácteas, etapas e tratamentos químicos, como floculação e coagulação, antes do tratamento secundário não são muito aplicados. Silva e Eyng (2012) descreveram em seu trabalho os processos primários descritos como o processo preliminar mais etapas físicas.

Neste trabalho será dimensionado um tanque de equalização como componente do tratamento primário, visando regular a entrada de efluente nas lagoas que constituirão o tratamento secundário. Patrício *et al.* (2021) descreveram em seu trabalho que o tanque de equalização pode servir também para neutralização e correção do pH secundário (pH 7) com adição de cal e demais características físico-químicas, bem como adição do composto microbiológico (bactérias).

Sperling (2017) estabelece um tempo de 6 horas para retenção, já Patrício *et al.*, (2021) trabalharam com 12 h, o qual propõem ainda implementação de um tanque cilíndrico. Para determinação do volume do tanque, utiliza-se a equação 12 e para determinação do diâmetro e altura do tanque, utiliza-se a equação 15 do volume do cilindro.

$$V = (A * H) \quad (15)$$

Onde:

V = Volume (m³);

A = Área (m²);

H = Altura (m).

Onde a área é definida pela equação 16.

$$A = \pi * r^2 \quad (16)$$

Onde:

A = Área (m²);

R = Raio (m).

3.5.3 Dimensionamento tratamento secundário

Ahmad *et al.* (2019) citam em seu trabalho que o tratamento biológico é o método preferido para tratamento de efluentes de laticínios, dentre eles, destaca-se o sistema de tratamento por lagoas, amplamente utilizado no Brasil.

Devido a grande carga orgânica obtida na caracterização do efluente, o sistema secundário pode ser anaeróbico, aeróbico, ou facultativo, sendo que para efluente de grande carga orgânica é comum o sistema anaeróbico vir primeiro (SANTA CATARINA, 2020).

3.5.3.1 Dimensionamento lagoa anaeróbica

Segundo Demirel *et al.* (2005) os processos de tratamento anaeróbicos possuem vantagens sobre os processos aeróbicos para os efluentes provenientes de laticínios com grande carga orgânica.

O correto dimensionamento de acordo com Santa Catarina (2020) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019), é feito considerando a temperatura do mês mais frio do ano, bem como o parâmetro de taxa volumétrica de carga, sendo recomendado para a região sul, um TRH entre 4 e 6 dias, sendo o volume obtido por meio da equação 17 e a taxa de aplicação volumétrica calculada por meio da equação 18.

$$V = Q * TRH \quad (17)$$

$$\lambda_v = \frac{DBO * Q}{V} \quad (18)$$

Onde:

V = Volume (m^3);

Q = Vazão (m^3/d);

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias);

λ_v = Taxa volumétrica de DBO (g/m^3d);

DBO = Demanda biológica do efluente (g/m^3).

Largura e comprimento variam de acordo com as características do terreno, contudo, Kispergher (2013) recomenda que o comprimento seja o dobro da largura, já a profundidade deve ficar entre 3 à 5 metros. Para obter as dimensões da lagoa (comprimento, largura, área), utiliza-se as equações 19, 20 e 21.

$$C = L_2 * 2 \quad (19)$$

$$A = C * L_2 \quad (20)$$

$$V = A * h_t \quad (21)$$

Onde:

L_2 = Largura (m);

C = Comprimento (m);

A = Área (m^2);

h_t = altura (m).

Com o valor da taxa volumétrica e sabendo a temperatura média do mês mais frio, é possível determinar a eficiência da lagoa por meio das equações apresentadas na Tabela 4, adaptada do projeto do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (1999).

Tabela 4: Eficiência lagoa

Temperatura média mensal ($^{\circ}C$)	Remoção de DBO_5 (%)
< 10	40
10 – 20	$2 \cdot T + 20$
> 20	60

Fonte: Adaptado de Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (1999)

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (1999) apresenta recomendações de TRH em função da temperatura e uma provável remoção de DBO,

a qual pode ser verificada quando calculada taxa de aplicação e verificada na Tabela 5.

Tabela 5: Tempo de retenção hidráulica

Temperatura média mensal (°C)	Tempo de detenção (dias)	Remoção provável de DBO ₅ (%)
10 -15	4 - 5	30 - 40
15 -20	3 - 4	40 - 50
20 - 25	2,5 - 3	50 -60
25 -30	2 - 5	60 – 70

Fonte: Adaptado de Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (1999).

3.5.3.2 Dimensionamento lagoa aeróbica

Os métodos aeróbicos ganham destaque quanto a degradação de nitrogênio, porém apresentam degradação reduzida para fósforos. No método aeróbico os organismos necessitam de ambientes com alta oxigenação, sendo assim, pode ser necessário a instalação de aeradores mecânicos, o método apresenta alta taxa de acidificação e crescimento filamentosos (AHMAD *et al.*, 2019).

Segundo SABESP N° 230 (SÃO PAULO, 2009), a profundidade deve variar entre 2,0 a 3,5 m. Kispergher (2013) recomenda que o comprimento seja o dobro da largura, dessa maneira, garante-se que a área superficial da lagoa será suficiente para produção de oxigênio necessária. A carga orgânica volumétrica (COV), é calculada em função da temperatura média do ar, sendo que para temperaturas média entre 10 e 20 °C se utiliza a equação 24 (METCALF & EDDY 2016; SPERLING 2017).

Para determinação das dimensões da lagoa, utilizou-se as equações 22, 23 e 24.

$$V = \frac{\text{Carga de DBO}}{COV} \quad (22)$$

$$\text{Carga de DBO} = Q * \text{concentração DQO efluente} \quad (23)$$

$$COV = 0,02 * T - 0,10 \quad (24)$$

Onde:

V = Volume (m³);

Carga de DBO aplicada= (kg/dia);

COV = carga volumétrica (kg/m³. d)

Q = Vazão (m³/d);

T = temperatura (°C);

Concentração DQO efluente (kg/m³).

Caso em que a área superficial calculada, não possa ser implementada, o manual da SABESP (SÃO PAULO, 2009) estabelece a instalação de aeradores mecânicos a fim de se garantir a produção de oxigênio necessária para correto funcionamento da lagoa.

Sperling (2002) estabelece em sua obra que para nitrificação há uma demanda de 4,61 kgO₂/kgNH₄⁺ e para conversão da DBO, a demanda é de 2,30 kgO₂/kgDBO. Portanto, para cálculo da demanda de oxigênio utiliza-se a equação 25.

$$RO = DBO * Q * R_{DBO} + NH_4 * Q * R_{NH_4} \quad (25)$$

Onde:

RO = Requisito de oxigênio (kg/d);

DBO = Demanda biológica de oxigênio (kg/m³);

Q = Vazão (m³/dia);

R_{DBO} = Requisito DBO (kgO₂/kgDBO);

NH₄ = Concentração nitrogênio amoniacal e nitratos (mg/L);

R_{NH₄} = Requisito NH₄⁺ (kgO₂/kgNH₄).

Para o cálculo da potência dos aeradores, Sperling (2002) estabelece que a eficiência de oxigenação (E_o) no campo, pode ser adotada como 1,1 kgO₂/kWh, sendo a potência calculada pela equação 26.

$$Pot = \frac{RO}{E_o} \quad (26)$$

Onde:

Pot = Potência (kW);

RO = Requisito de oxigênio (kg/d);

E_o = Eficiência de oxigenação (kgO₂/kwh.dia).

3.5.4 Dimensionamento do biodigestor em alternativa ao tratamento secundário biológico em lagoas

Como método de alternativo ao tratamento secundário biológico realizado em lagoas, é proposto a instalação de um biodigestor logo após o pré-tratamento e tratamento primário.

O biodigestor se destaca dos demais métodos de tratamento pois possibilita a geração de energia elétrica a partir da queima do gás metano gerado no processo, mediante instalação de um gerador a gás, agregando assim valor econômico ao projeto.

Sperling (2017) e Alves *et al.* (2021) estabelecem que um biodigestor do tipo tubular, é aquele caracterizado pela geometria simples, baixa profundidade e maior largura. Esse biodigestor possui vantagem, pois apresenta uma grande área superficial de exposição ao sol, a qual favorece a ação das bactérias.

O dimensionamento é feito tomando por base parâmetros geométricos, da vazão e do TRH (1 dia) do efluente dentro do sistema e seguirá o disposto por Kispergher (2013) e NBR 13969 (BRASIL, 1997) com recheio de anéis *High Flow Pall Rings* de 50 mm.

O dimensionamento parte da determinação do volume e da altura do recheio por meio da equação 27 (KISPERGHER, 2013).

$$V_{recheio} = \frac{Q}{\varepsilon} * 24 \quad (27)$$

Onde:

$V_{recheio}$ = Volume da porção recheada (m³);

Q = Vazão (m³/h);

ε = Porosidade do leito.

Conforme pré-estabelecido o volume do *headspace* (parte superior preenchida pelo biogás) corresponde a 20 % do volume da parte recheada do reator, então a altura do reator é dada pela soma da altura do recheio, da calha (fundo) e do *headspace* (KISPERGHER, 2013).

Seguindo, se determina a largura e o comprimento do reator, por meio das equações 28, 29 e 30, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas 13969 (BRASIL, 2017), a altura do recheio deve ser limitada a 1,20 m e de acordo com

Kispergher (2013), a altura da calha é de 0,2 m e altura do *headspace* 20 % da altura do recheio.

$$L_2 = \sqrt{\frac{V_{recheio}}{R * h_{recheio}}} \quad (28)$$

$$h_{headspace} = h_{recheio} * 0,2 \quad (29)$$

$$h_t = h_{headspace} + h_{recheio} + h_{calha} \quad (30)$$

Onde:

L_2 = Largura (m);

$V_{recheio}$ = Volume da porção recheada (m^3);

$h_{recheio}$ = Altura da porção recheada (m);

R = Razão comprimento/largura;

C = Comprimento (m);

$h_{headspace}$ = Altura da porção não recheada (m);

h_c = Altura da calha (m);

h_t = Altura do reator (m).

Por fim, segundo a NBR 13969 (BRASIL, 1997) o número de distribuidores de efluente, deve respeitar a proporção de um tubo a cada 3 m^2 , portanto o número de tubos é dado pela equação 31 (KISPERGHER, 2013).

$$N_{distribuidores} = \frac{A}{3} \quad (31)$$

Onde:

$N_{distribuidores}$ = Número de distribuidores;

A = Área (m^2).

Ao final do biodigestor, se espera que o efluente tenha uma expressiva redução na quantidade de matéria orgânica, para isso com base no valor inicial da DBO e considerando a eficiência na remoção do biodigestor, valendo-se das equações 32 e 33, é possível calcular a DBO final após o equipamento.

$$DBO_{residual} = DBO * eficiencia \quad (32)$$

$$DBO_{restante} = DBO - DBO_{residual} \quad (33)$$

Onde:

$DBO_{residual}$ = DBO removida do efluente (mg/L);

DBO = DBO inicial do efluente (mg/L);

$DBO_{restante}$ = DBO que continua no efluente (mg/L).

3.5.5 Simulação cinética

A modelagem cinética de acordo com Cichelloa, Ribeiro, Tommasob (2013), delimita, a velocidade de consumo do substrato adicionado e o valor da velocidade específica de consumo. Kar *et al.* (2017) descrevem a modelagem cinética como um método que ajuda a prever o progresso de um projeto, bem como fazer alterações no mesmo para obtenção de uma produção ideal.

Portanto, o dimensionamento cinético apresentado é referente a biodegradação da matéria orgânica no tratamento secundário, seguindo a obra de Moraes *et al.* (2020), onde são determinados os coeficientes cinéticos aeróbicos de degradação da MO em águas residuárias, utilizando como parâmetro a DBO.

A redução da DBO é determinada em termos da DBO remanescente para a cinética de primeira ordem, ou seja, quantidade de oxigênio necessária para degradação da MO na massa líquida após dado tempo, se determina os coeficientes de desoxigenação de primeira ordem usando a equação 34 em sua forma diferencial e equação 35 após integralização (SPERLING, 1996). Para tal, se integra a equação 34 utilizando as seguintes condições: $DBO = DBO_{0r}$ para $t = 0$ e $DBO = DBO_{tr}$ para $t = t$.

$$\frac{dDBO}{dt} = -k' * DBO \quad (34)$$

$$DBO_{tr} = DBO_{0r} * (e^{-k' * t}) \quad (35)$$

Onde:

DBO_{tr} = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg L⁻¹);

t = Tempo (dia);

k' = Coeficiente cinético de primeira ordem a temperatura (dia⁻¹)

DBO_{0r} = DBO remanescente em $t = 0$ ou inicial (mg L⁻¹);

t = Tempo (d).

O valor de k' é definido na literatura por Sperling (1996) para efluentes secundários a temperatura de 20 °C, contudo pode ser corrigido para outras temperaturas utilizando a equação 36.

$$k'_T = k'_{20} * 1,047^{(T-20)} \quad (36)$$

k'_T = Coeficiente cinético de primeira ordem a uma T qualquer (d^{-1});

k'_{20} = Coeficiente cinético de desoxigenação de primeira ordem a 20 °C (d^{-1});

T = Temperatura média do líquido (°C).

Já para determinação do valor de DBO remanescente em diferentes percentuais, multiplica-se a concentração inicial pelo percentual desejado, conforme equação 37, encontrando o valor da DQO para uma dada concentração equivalente a um percentual do valor inicial.

$$DBO_{tr} = DBO_{0r} * \text{percentual} \quad (37)$$

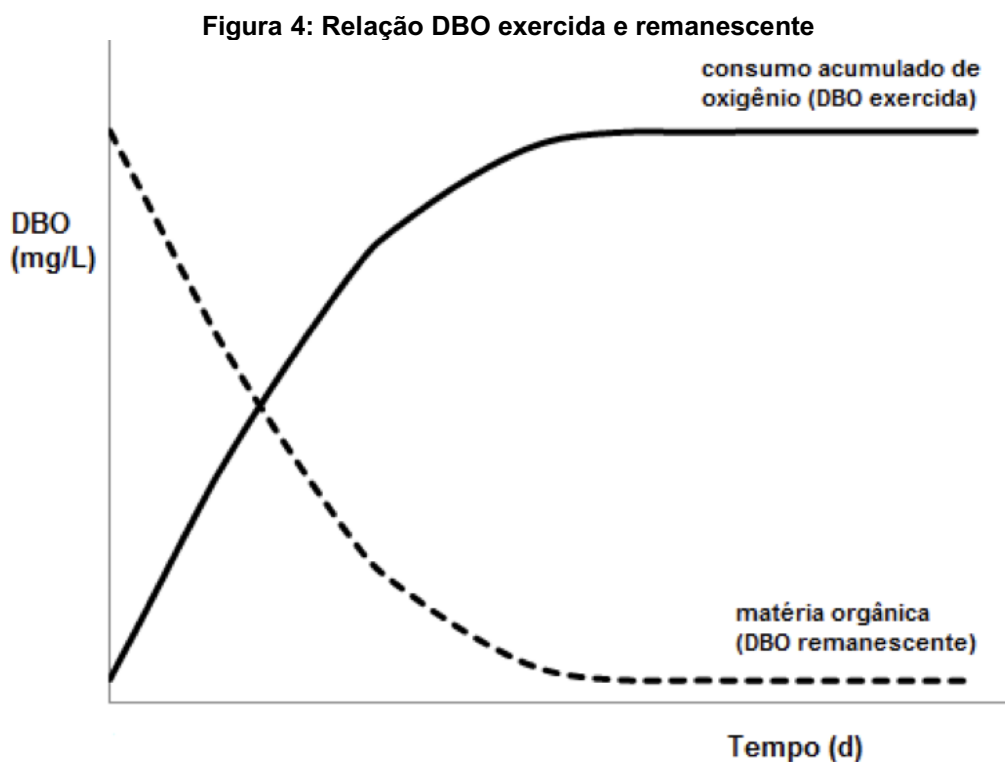
Diferentemente do modelo cinético de primeira ordem, para o modelo de segunda ordem a literatura trabalha em função da DBO exercida, que é o consumo de oxigênio. Matos (2014) afirma em sua obra que as funções são espelhadas, enquanto a exercida aumenta a remanescente diminui, isso é, para que ocorra a diminuição da concentração da MO no líquido (DBO remanescente), faz-se necessário um aumento na quantidade de oxigênio consumido (DBO exercida), sendo a relação entre elas estabelecida pela equação 38.

$$DBO_{te} = DBO_{0r} - DBO_{tr} \quad (38)$$

Onde:

DBO_{te} = DBO exercida em um tempo t qualquer ($mg L^{-1}$).

A relação entre as duas DBOs é representada visualmente conforme Figura 4, no qual é possível verificar o espelhamento das duas e a equivalência da DBO exercida no infinito (DBO_u) ao valor da DBO_{0r} .



Fonte: Matos, (2012)

O modelo cinético de segunda ordem é estabelecido pela equação 39 em sua forma diferencial e pela equação 40 em sua forma não-linear, proposta por Matos (2014), o qual explica que a DBO última (DBO_u) possui mesmo valor que a DBO_0 uma vez que é equivalente a DBO_t com o tempo tendendo ao infinito, isso é, a quantidade de oxigênio consumido no infinito para degradar a MO totalmente, utilizando as seguintes condições de contorno: $DBO = DBO_{te}$ para $t = t$ e $DBO = DBO_u$ para $t = \infty$.

$$\frac{dDBO}{dt} = -k'' * DBO^2 \quad (39)$$

$$DBO_{te} = DBO_u * \frac{k'' * DBO_u * t}{1 + k'' * DBO_u * t} \quad (40)$$

Onde:

k'' = Coeficiente cinético de desoxigenação de segunda ordem ($L \text{ mg}^{-1} \text{ d}^{-1}$);

DBO_{te} = DBO exercida em um tempo t qualquer (mg L^{-1});

DBO_u = DBO última, equivalente a DBO_{or} (mg L^{-1}).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa fora concedida com a colaboração do Instituto Água e Terra, conforme ofício nº 22/2021 – PPGEA-FB, o qual se encontra disponível no anexo I, sendo fornecido acesso aos arquivos nos quais constam projetos do sistema de tratamento dos empreendimentos analisados, bem como utilização dos laudos de análises feitos pelo órgão ou fornecido ao mesmo pelo empreendimento.

A fim de manutenção do sigilo industrial, bem como garantia de que os empreendimentos aqui citados, não serão afetados em detrimento desta pesquisa, os laticínios estudados serão aqui tratados como laticínios 1, 2, 3 e 4.

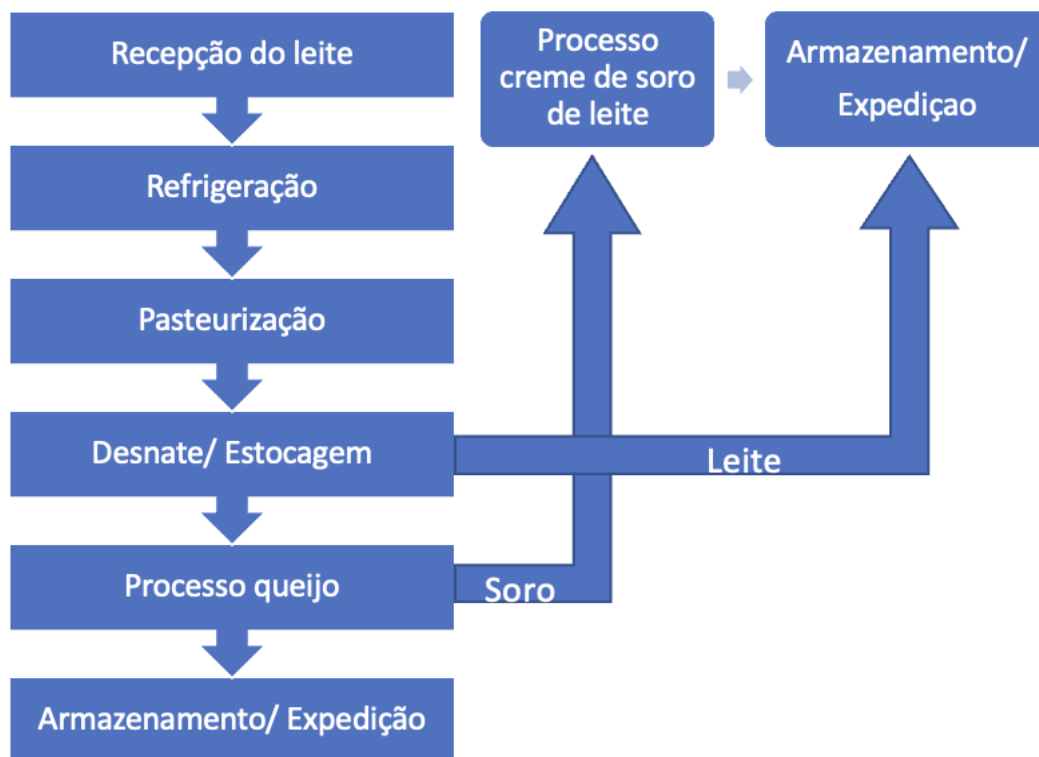
A localização dos mesmos não é fornecida, pois alguns se localizam em cidades pequenas, onde somente há um empreendimento instalado, servindo assim como meio de identificação, contudo, todos os empreendimentos encontram-se instalado na região Sudoeste do Paraná, especificamente na área de atuação do Escritório Regional de Francisco Beltrão – ERBEL, do Instituto Água e Terra.

4.1 Descrição do sistema de tratamento de efluentes em operação nos empreendimentos

Para realização desta pesquisa, primeiramente se realizou a visita técnica em todos os empreendimentos. A escolha dos empreendimentos que foram estudados nesse trabalho, se deu em função do formato de destinação final do efluente (direto ou incorporação em solo) e análise visual referente a qualidade do efluente quando da realização da visita técnica.

Nessas visitas levantou-se dados como, estruturas do sistema de tratamento, matéria-prima recebida diariamente e dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes. Para um maior entendimento, gerou-se o fluxograma exposto na Figura 5, o qual representa o processo de operação industrial dos quatros laticínios.

Essas visitas foram feitas de acordo com a demanda do órgão ou necessidade. Em seguida, realizou-se as coletas de efluentes aos empreendimentos selecionados.

Figura 5: Processamento industrial, laticínio 1, 2, 3 e 4

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2 Procedimento de coleta e conservação das amostras

As amostras dos laticínios 1, 2 e 4 foram coletadas diretamente nos empreendimentos por meio de caixas de coletas disponibilizadas pelo órgão IAT. A frascaria foi composta de um frasco de vidro âmbar de 1 L, um frasco de plástico de 1 L e um frasco de plástico de 3 L. A Figura 6, apresenta a caixa de coleta e as frascarias utilizadas nas coletas.

Figura 6: Frascaria e caixa de coleta

Fonte: Autoria própria (2022)

A coleta seguiu o disposto em BRASIL (2011), respeitando também o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, elaborado pela Agência Nacional de Água – ANA e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (BRASIL, 2011).

Já a amostragem no laticínio 3, fora realizada pelo empreendimento sendo apresentado o resultado das análises ao IAT.

Para recebimento da amostra no laboratório do IAT, faz necessário primeiramente preenchimento da ficha de coleta, onde constam os dados do empreendimento, coordenadas, forma de amostragem, data, horário e parâmetros

analisados. Por se tratar de informações internas, as fichas de coletas não foram disponibilizadas.

As amostras do laticínio 1 e 2 foram coletadas na data de 12 de abril de 2021, por volta das 07 h e 20 min e 08 h e 40 min respectivamente. A coleta foi feita de maneira direta, emergindo a frascaria dentro da lagoa de tratamento, para tal, utilizou-se de luvas descartáveis.

Coletou-se amostras da primeira lagoa (entrada do processo) e da última lagoa (saída do processo) para o laticínio 1 e da última lagoa (saída do processo) para o laticínio 2, o qual teve caracterização do efluente apresentado pela empresa, não havendo, portanto, dados referentes a metodologia de coleta. Após as coletas, as amostras foram colocadas dentro da caixa e a conservação feita com gelo.

Não houve ocorrência de chuva nas últimas 48 horas que antecederam a coleta. Após conservação, as amostras foram transportadas e entregues ao laboratório na data de 12 de abril de 2021 às 12 h e 09 min.

A coleta e amostragem do laticínio 3 foi feita pelo empreendimento, sendo apresentado o laudo de análise por parte dele. No laudo é informado que a coleta ocorreu em 02 de setembro de 2021, às 11h e 40min, a amostra chegou ao laboratório na mesma data as 18h e 40 min. A amostragem fora feita em frascos e a metodologia de coleta não é descrita.

As amostras do laticínio 4 foram coletadas na data de 06 de janeiro de 2022, por volta das 09 h e 00 min, a coleta foi feita de maneira direta, emergindo a frascaria dentro da lagoa de tratamento, para tal, utilizou-se de luvas descartáveis.

Coletou-se amostras da primeira lagoa (entrada do processo) e da última lagoa (saída do processo), após coletas as amostras foram colocadas dentro da caixa e a conservação feita com gelo.

Não houve ocorrência de chuva nas últimas 48 horas, após conservação, a amostra fora transportada e entregue ao laboratório na data de 06 de janeiro de 2021 às 12 h e 45 min.

4.3 Análises laboratoriais

Neste item, serão descritas as metodologias utilizadas na realização das análises em laboratório, os parâmetros analisados, bem como o laboratório que procedeu a análise. Devido ao sigilo industrial envolvido, os laudos de análises não serão anexados a este estudo, contudo as análises estão transcritas no Quadro 2.

Nele é possível verificar quais parâmetros foram analisados em cada empreendimento, bem como se foram quantificadas a entrada e saída do sistema. Sendo que o “X” indica que o respectivo parâmetro fora analisado, enquanto o “NA” significa que o parâmetro não fora analisado.

Na sequência, encontra-se o Quadro 3, nele são transcritos de maneira completa os métodos analíticos utilizados pelos laboratórios para análise de cada parâmetro.

Quadro 2: Parâmetros analisados

Parâmetros		Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	Bruto	X	X	X	X
	Tratado	X	X	X	NA
DQO (mg/L de O ₂)	Bruto	X	X	X	X
	Tratado	X	X	X	X
Óleos e graxas (mg/L)	Bruto	X	X	NA	X
	Tratado	X	X	NA	X
Óleos Minerais (mg/L)	Bruto	X	NA	NA	X
	Tratado	X	X	NA	X
Óleos Vegetais e Gorduras Animais (mg/L)	Bruto	X	NA	X	X
	Tratado	X	X	X	X
pH	Bruto	X	X	X	NA
	Tratado	X	X	X	NA
Toxicidade <i>Vibrio</i> (FT)	Bruto	X	NA	NA	NA
	Tratado	X	X	NA	NA
Toxicidade <i>Daphnia</i> (FT)	Bruto	X	NA	NA	NA
	Tratado	X	X	NA	NA

X – Parâmetro analisado

NA – Não analisado

Fonte: A autoria própria (2022)

Embora nitrogênio amoniacal tenha limite estabelecido por Brasil, 2011 e conforme caracterização do efluente apresentada no referencial há presença de tal substância no efluente, o parâmetro não foi quantificado uma vez que conforme licenças de operação do empreendimento e Paraná, 2009, o mesmo não foi cobrado pelo órgão ambiental estadual.

Quadro 3: Métodos analíticos

Parâmetro	Método
DBO ₅	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 5210 B (APHA, AWWA E WEF, 2017).
DQO	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 5220 D (APHA, AWWA E WEF, 2017).
Óleos e Graxas	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 5520 D (APHA, AWWA E WEF, 2017).
Óleos Minerais	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 5520 F (APHA, AWWA E WEF, 2017).
Óleos Vegetais e Gordura Animal	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), 5520 F (APHA, AWWA E WEF, 2017).
pH	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMWW), Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 23a Edição, 4500 H+ B (2017).
Toxicidade Vibrio (FT)	Ecotoxicologia aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de <i>Vibrio fischeri</i> (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas, (BRASIL, 2012)
Toxicidade Daphnia (FT)	Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – método de ensaio com <i>Daphnia</i> spp (Crustácea, Cladocera), (BRASIL, 2016).

Fonte: Autoria própria (2022)

Para o laticínio 1, caracterizou-se tanto o efluente bruto e o tratado (saída do processo). Para esse empreendimento analisou-se os parâmetros conforme apresentado no Quadro 2. As análises foram realizadas pelo laboratório do Instituto Água e Terra – IAT, localizado em Toledo – PR, utilizando a metodologia apresentada no Quadro 3.

Para o laticínio 2, caracterizou-se tanto o efluente (entrada do processo), quanto o tratado (saída do processo). Para esse empreendimento analisou-se os parâmetros conforme disponível no Quadro 2. A caracterização do efluente (entrada) fora apresentada pela empresa, sendo esse feita em laboratório contratado pela mesma (Lanali), já as análises do efluente tratado foram feitas pelo laboratório do Instituto Água e Terra – IAT, localizado em Toledo – PR, sendo a metodologia seguida conforme Quadro 3.

Para o laticínio 3, caracterizou-se tanto o efluente (entrada do processo), quanto o tratado (saída do processo), para esse empreendimento analisou-se os parâmetros conforme disponível no Quadro 2. As análises foram feitas em laboratório contratado pela mesma (A3Q), sendo a metodologia seguida conforme Quadro 3.

Para o laticínio 4, caracterizou-se tanto o efluente (entrada do processo), quanto o tratado (saída do processo), para esse empreendimento analisou-se os parâmetros conforme disponível no Quadro 2. As análises foram feitas pelo laboratório do Instituto Água e Terra – IAT, localizado em Toledo – PR, sendo a metodologia seguida conforme Quadro 3.

4.4 Comparação dos resultados

A comparação dos dados se deu de maneira direta, utilizando-se uma metodologia semelhante à de Moraes e Santos (2019), utilizando o software Excel, para verificação do atendimento ou não aos padrões de lançamento.

Comparou-se os resultados obtidos por meio dos laudos de análises com os valores estabelecidos no anexo VII da resolução CEMA nº 070 de 2009 (PARANÁ, 2009).

Caso o empreendimento atendesse os padrões de lançamento, não é necessária intervenção uma vez que o projeto fora corretamente dimensionado e executado, uma vez que não há extrapolação aos limites de lançamento.

Contudo, caso não houvesse atendimento aos padrões de lançamento conforme resolução CEMA nº 070 de 2009 (PARANÁ, 2009) o sistema de tratamento do empreendimento foi redimensionado, de modo a atender os critérios para elaboração de projetos disponíveis na literatura, otimizando assim o sistema de tratamento, sendo proposto uma metodologia mais simples.

4.5 Procedimento de identificação e elaboração das propostas de adequação

Conforme estabelecido no item 4.4, os empreendimentos aos quais não há atendimento aos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos por resolução vigente, demandaram de adequações na metodologia utilizada para tratamento de efluentes.

Para isso, esse trabalho focou na elaboração de um novo sistema de tratamento, sendo assim projetado um novo sistema ao qual, após passar por todas as etapas de tratamento, o efluente atenderia os padrões de lançamento.

Para elaboração do projeto novo, fluxograma e dimensionamento, seguiu-se o disposto na literatura, tida como referência na elaboração de projetos de sistema de tratamento de efluentes.

Sendo o dimensionamento feito de acordo com as equações apresentadas no item 3.5, o qual considerou as referências de Sperling (1996; 2002; 2017) e Metcalf & Eddy (2016), e ao término de cada sistema, foi projetado um biodigestor como método terciário. A escolha se deu em virtude de o mesmo permitir a geração de energia elétrica, agregando valor ao sistema.

Para tal, tomou-se como base a quantidade de matéria-prima recebida diariamente no empreendimento, utilizou-se uma geração de efluente 3:1, conforme estabelece a resolução CEMA nº 070 de 2009, em seu anexo VII, ou seja, para cada litro de leite recebido, se gera 3 litros de efluente.

Utilizando-se desse valor em m³ de efluente gerado, bem como da caracterização inicial do efluente, feita por meio das análises em laboratório, projetou-se um sistema otimizado, o qual seria capaz de reduzir os níveis de DBO, DQO, óleos e toxicidade em níveis permitidos para o lançamento.

Para o estudo do decaimento cinético, trabalhou-se com as concentrações calculadas mediante modelos cinéticos, nos quais as constantes foram encontradas na literatura de referência. Trabalhou-se com 25, 50 e 75 % de remoção de DBO, determinando-se o tempo necessário para remoção atingir tais valores.

A escolha desses parâmetros, como supracitado se deu uma vez que o intuito desse projeto é propor um sistema para o empreendimento, o qual após implantado permita o atendimento da legislação, levando em consideração o disposto na literatura de referência.

4.6 Análise estatística

Os resultados obtidos para os parâmetros DBO_{tratada}, DBO_{bruta}, DQO, Óleos Vegetais e Gorduras Animais, foram avaliados e passaram por análise estatística de normalidade. Demais parâmetros não foram analisados por não possuírem amostras suficientes para passarem por análise estatística.

O *software* utilizado para tratamento dos dados foi o *Statística* versão 7.0, pois ele permite a aplicação das análises de forma rápida e com fácil aplicação.

Primeiramente foi aplicado no software uma análise da distribuição dos dados, com nível de significância de 5 %, devendo os mesmos apresentar um valor de p_{value} superior a 0,05 para que seja comprovada a distribuição normal. Caso o valor seja inferior, os dados não apresentam distribuição normal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análises dos sistemas de tratamentos dos laticínios

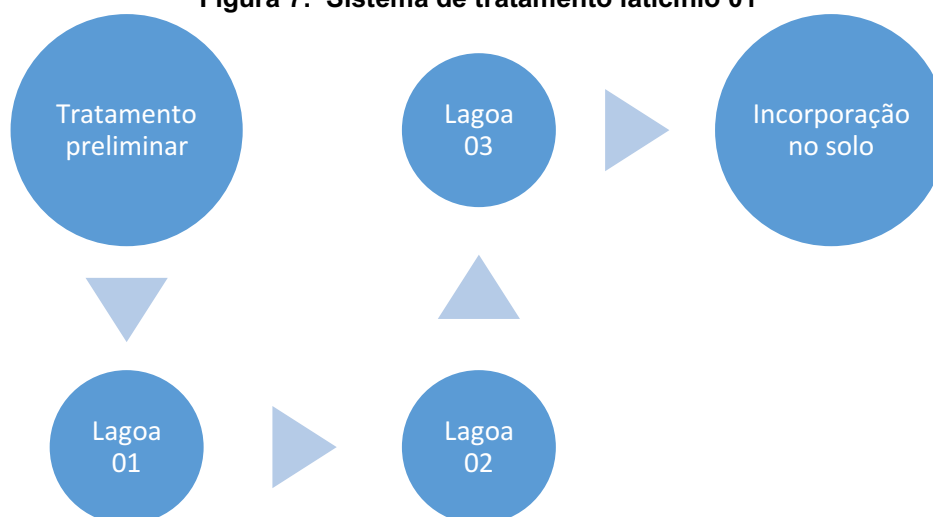
Inicialmente realizou-se uma visita a cada um dos empreendimentos estudados, nessa visita coletou-se dados dos empreendimentos, como descrição do sistema de tratamento, quantidade de leite recebido diariamente e produtos elaborados.

5.1.1 Laticínio 1

Com recebimento diário de 30 m³ de leite, o empreendimento faz o processamento do leite, fabricando leite processado, soro e queijo. Procede com a incorporação no solo do efluente tratado, sendo que esse, após passar pelo sistema de tratamento é então incorporado ao solo agrícola.

O efluente possui características diversas, sendo composto do efluente sanitário, lavagem das instalações e lavagem dos caminhões. O sistema de tratamento existente é antigo e ocorre conforme Figura 7. Nenhuma das lagoas possuem revestimento por geomembrana.

Figura 7: Sistema de tratamento laticínio 01



Fonte: Autoria própria (2022)

Por se tratar de um empreendimento antigo, cuja instalação é datada de aproximadamente 1990, não se obteve acesso ao dimensionamento real do sistema, contudo conforme entrevista com o responsável e constatação *in loco*, verificou-se

que o sistema de tratamento preliminar é composto por uma grade para retenção dos sólidos mais grosseiros e caixa de gordura, possuindo um volume de 10 m³.

Na sequência o efluente passa pela primeira lagoa, essa lagoa é aeróbica e possui instalada um aerador com potência de 3700 W. A lagoa possui aproximadamente 80 m de comprimento por 40 m de largura e 1,5 m de profundidade.

A segunda e terceira lagoas são aeradas facultativas, possuindo respectivamente, 25 m de comprimento por 15 m de largura e 2 m de profundidade e 60 m de comprimento por 25 m de largura e 1 m de profundidade, servindo essa última como polimento.

O controle biológico é feito por meio da adição de um produto biológico granular na etapa do tratamento preliminar o qual está devidamente registrado no IBAMA, sendo o nome e número de registro não divulgados para manutenção do anonimato dos empreendimentos.

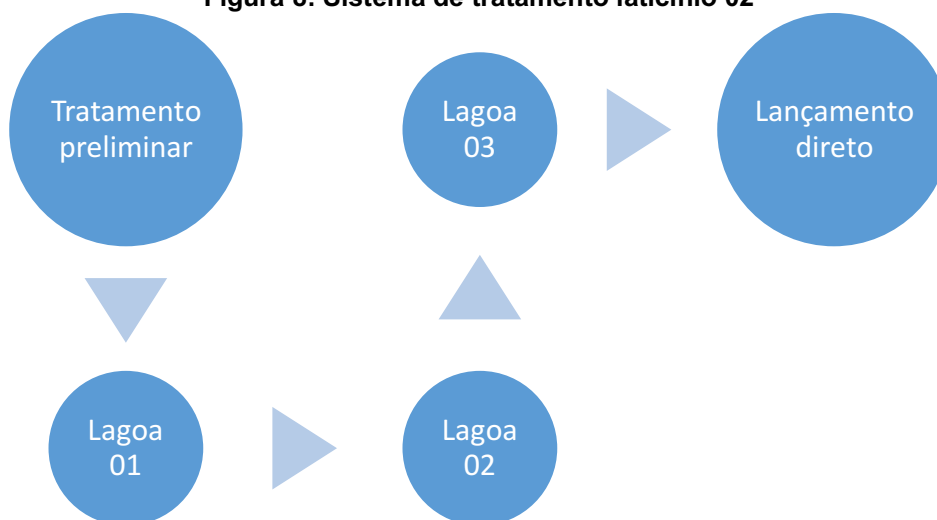
Conforme informado, a quantidade de produto adicionado é repassada mensalmente pela empresa consultora ambiental do empreendimento, uma vez que a mesma procede com coleta e análise do efluente.

A composição do produto, conforme informado no registro no IBAMA, é a seguinte: Bactérias ($3,5 \times 10^{-9}$ UFC/g): *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus* e outros ingredientes: 90 %.

5.1.2 Laticínio 2

Com recebimento diário de 125 m³ de leite, o empreendimento faz o processamento do leite, fabricando leite processado, soro e queijo. Procede com o lançamento direto do efluente tratado, sendo que, após passar pelo sistema de tratamento é então lançado em curso hídrico.

O efluente possui características diversas, sendo composto do efluente sanitário, lavagem das instalações e lavagem dos caminhões. O sistema de tratamento existente é antigo e ocorre conforme Figura 8. Todas as lagoas possuem revestimento por geomembrana.

Figura 8: Sistema de tratamento laticínio 02

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme entrevista com o responsável e constatação *in loco*, verificou-se que o sistema de tratamento preliminar é composto por grades para retenção dos sólidos mais grosseiros e caixa de gordura, possuindo duas caixas de gorduras as quais totaliza cerca de 30 m³.

Na sequência o efluente passa pela primeira lagoa, essa lagoa é anaeróbica e possui comprimento aproximado de 60 m de comprimento por 30 m de largura e 4 m de profundidade.

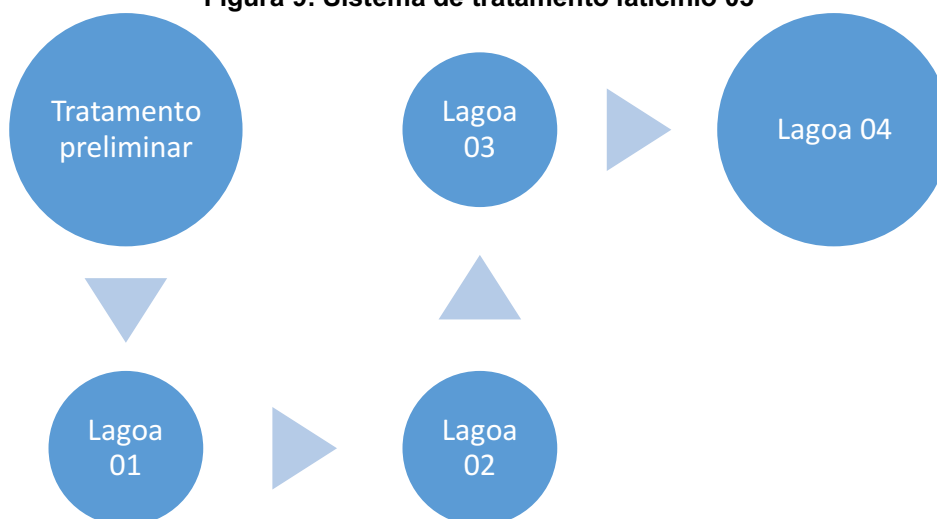
A segunda e terceira lagoas possuem características aeróbicas, a segunda possui cerca de 4 aeradores de 3700 W de potência cada, a lagoa possui 70 m de comprimento por 35 m de largura e 2 m de profundidade e a terceira 35 m de comprimento por 15 m de largura e 2 m de profundidade. O controle biológico é igual ao descrito no laticínio 1.

5.1.3 Laticínio 3

Com recebimento diário de 30 m³ de leite, o empreendimento faz o processamento do leite, fabricando leite processado, soro e queijo. Procede com a incorporação no solo do efluente tratado, uma vez que o empreendimento possui instalado quatro lagoas de grandes proporções e nenhuma delas possuem impermeabilização por geomembrana, fazendo com que o efluente infiltre totalmente no fundo das lagoas.

O efluente possui características diversas, sendo composto do efluente sanitário, lavagem das instalações e lavagem dos caminhões. Nesse empreendimento em questão, ocorre a mistura do efluente com o efluente gerado por um abatedouro localizado no mesmo imóvel. O sistema de tratamento existente é relativamente novo e ocorre conforme Figura 9.

Figura 9: Sistema de tratamento laticínio 03



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme entrevista com o responsável e constatação *in loco*, verificou-se que o sistema de tratamento preliminar é composto por uma grade para retenção dos sólidos mais grosseiros e caixa de gordura, possuindo um volume de 15 m³.

Na sequência o efluente passa pela primeira lagoa, essa lagoa é anaeróbica e possui comprimento aproximado de 15 m de comprimento por 10 m de largura e 4 m de profundidade.

A segunda, terceira e quarta lagoas são aeradas facultativas, possuindo respectivamente, 40 m de comprimento por 25 m de largura e 3 m de profundidade, 25 m de comprimento por 15 m de largura e 2 m de profundidade e 25 m de comprimento por 15 m de largura e 2 m de profundidade servindo essa última como polimento. O controle biológico é igual ao descrito no laticínio 1.

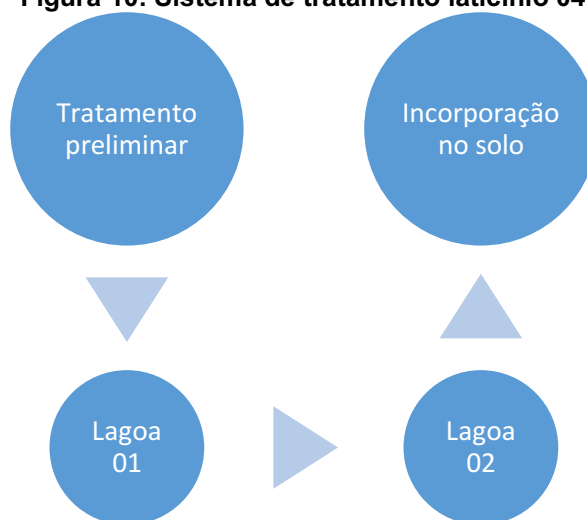
5.1.4 Laticínio 4

Com recebimento diário de 35 m³ de leite, o empreendimento faz o processamento do leite, fabricando leite processado, soro e queijo. Procede com a

incorporação no solo do efluente tratado, sendo que esse, após passar pelo sistema o efluente é então incorporado ao solo agrícola.

O efluente possui características diversas, sendo composto do efluente sanitário, lavagem das instalações e lavagem dos caminhões. O sistema de tratamento existente é antigo e o ocorre conforme Figura 10. Nenhuma das lagoas são revestidas por geomembranas.

Figura 10: Sistema de tratamento laticínio 04



Fonte: Autoria própria (2022)

Por se tratar de um empreendimento antigo, cuja instalação é datada de aproximadamente 1995, não se obteve acesso ao dimensionamento real do sistema, contudo conforme entrevista com o responsável e constatação *in loco*, verificou-se que o sistema de tratamento preliminar é composto por uma grade para retenção dos sólidos mais grosseiros e caixa de gordura, possuindo um volume de 12 m³.

Na sequência o efluente passa pela primeira lagoa, essa lagoa é anaeróbica e possui comprimento aproximado de 35 m de comprimento por 35 m de largura e 3 m de profundidade.

A segunda lagoa é aerada facultativa, possuindo 75 m de comprimento por 45 m de largura e 2 m de profundidade. O controle biológico é igual ao descrito no laticínio 1.

5.2 Comparação dos resultados laboratoriais

A apresentação e comparação dos resultados seguiu o disposto no item 4.4 e é apresentada na Tabela 6, sendo inicialmente transcrito o resultado da análise e na sequência comparado com o limite máximo.

Tomando por base sempre o resultado do efluente tratado, o resultado com fonte vermelha indica o não atendimento aos padrões de lançamento, isso é, a empresa em questão violou uma resolução, cometendo crime ambiental sendo passível de autuação, fonte preta indica que o limite não foi ultrapassado. A comparação dos resultados obtidos pelas análises laboratoriais, foi realizada com os limites máximos de lançamento estabelecidos na resolução CEMA 070 de 2009, (PARANÁ, 2009), anexo VII, apresentado na seção 3.4.

Vale ressaltar também, que embora os parâmetros de óleos e graxas, óleos minerais e pH tenham sido analisados, o anexo VII da resolução não estabelece limites de lançamentos para os mesmos, por isso não foram analisados.

Nesse sentido, ressalta-se também o parâmetro nitrogênio amoniacal, que embora tenha padrão de lançamento estabelecido somente por Brasil, 2011, não foi quantificado uma vez que na resolução estadual (PARANÁ, 2009), não é exigido, não havendo, portanto, dados para análise.

Observa-se na Tabela 6, que os quatro laticínios estudados não atenderam os limites de lançamento em pelo menos um parâmetro de lançamento. Analisando os parâmetros isoladamente, a DBO₅ não foi atendida em nenhum laticínio, a DQO foi atendida somente no laticínio 3, toxicidade *vibrio* não foi atendimento no laticínio 1, a toxicidade *daphnia* e óleos vegetais e gordura animal foram atendidas em todos os empreendimentos.

Como todos os quatro laticínios violaram algum limite de lançamento, identificou-se um problema com o sistema de tratamento, o qual precisa ser corrigido para que o lançamento esteja legalizado.

Por essa razão, todos os laticínios foram novamente dimensionados a fim de se elaborar uma proposta de adequação que vise atendimento desses parâmetros fazendo assim com que não ocorra configuração de crime ambiental, tão pouco sejam causados danos ao meio ambiente.

Tabela 6: Resultados analíticos

Parâmetro		Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	Bruto	4784	3000	10153,12	2000
	Tratado	1912	241	60,87	NQ
DQO (mg/L de O ₂)	Bruto	5144	7500	18409,86	10.012
	Tratado	2234	353	91,52	1101
Óleos e graxas (mg/L)	Bruto	102	450	-	2141
	Tratado	49	6,7	-	26
Óleos Minerais (mg/L)	Bruto	<10		-	105
	Tratado	<10	<10	-	11
Óleos Vegetais e Gorduras Animais (mg/L)	Bruto	102	-	868	2036
	Tratado	49	<10	<10	15
pH	Bruto	6,56	8	4,56	-
	Tratado	7,58	7,82	6,94	-
Toxicidade <i>Vibrio</i> (FT)	Bruto	512	-	-	-
	Tratado	512	1	-	-
Toxicidade <i>Daphnia</i> (FT)	Bruto	4	-	-	-
	Tratado	2	1	-	-

Vermelho – Limite de lançamento ultrapassado

NQ – Não quantificado pelo método analítico

Fonte: Autoria própria (2022)

A caracterização do efluente bruto obteve os seguintes valores médios para o efluente bruto: 4984,28 mg/L de DBO, 10266,47 mg/L de DQO, 1002 mg/L de óleos animais e gorduras vegetais, 512 FT de toxicidade *Daphnia magna* e 4 FT de toxicidade *Vibrio fischeri*.

Borges, Costa e Gontijo (2019) obtiveram em sua pesquisa um efluente bruto de laticínios, com característica: 1067 mg/L de DBO, 3698 mg/L de DQO, 278,29 mg/L de óleos e graxas. Já Gomes *et al.* (2017) chegaram a 431 mg/L de DBO, 684 mg/L de DQO, 57 mg/L de óleos e graxas.

Os valores obtidos nessa pesquisa estão acima dos valores da literatura, porém tal fato se deve a difícil caracterização e não padronização no recebimento de cargas além de produto elaborado (RAGHUNATH *et al.*, 2016). Porém nota-se que as altas taxas de MO são comuns, coincidindo assim com o disposto na literatura.

Já o efluente tratado possui as seguintes características médias: 737,96 mg/L de DBO, 944,88 mg/L de DQO, 16 mg/L de óleos animais e gorduras vegetais, 256,5 FT de toxicidade *Daphnia magna* e 1,5 FT de toxicidade *Vibrio fischeri*.

O efluente tratado de Gomes *et al.* (2017) obteve: 183 mg/L de DBO, 536 mg/L de DQO, 35,6 mg/L de óleos e graxas, os autores em sua pesquisa avaliaram efluentes de laticínios tratados em sistemas compostos por pré-tratamento seguido de tratamento biológico em lagoas, semelhante aos implementados nos empreendimentos estudados nesta pesquisa.

Comparando os dados, se percebe que os valores de óleos obtidos se assemelham, enquanto os valores de DQO se distanciam em cerca de 75 %. Já para a DBO o efluente estudado nesta pesquisa é 300 % maior quando comparado ao valor de Gomes *et al.* (2017).

5.3 Dimensionamento

O dimensionamento foi aplicado e realizado conforme apresentado no item 3.5. Os cálculos foram feitos no *Excel* e os resultados das vazões (equação 1 e 2) e suas conversões são apresentados na Tabela 7, enquanto a aplicação das equações de dimensionamento nas Tabelas 8 a 14.

	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
Leite processado (m ³ /dia)	30	125	30	35
Efluentes gerados (m ³ /dia)	90	375	90	105
Vazão média (m ³ /s)	0,0010	0,0043	0,0010	0,0012
Vazão média (L/s)	1,0417	4,3403	1,0417	1,2153
Vazão máxima (m ³ /s)	0,0016	0,0065	0,0016	0,0018
Vazão máxima (L/s)	1,5625	6,5104	1,5625	1,8229
Vazão mínima (m ³ /s)	0,0005	0,0022	0,0005	0,0006
Vazão mínima (L/s)	0,5208	2,1701	0,5208	0,6076

Fonte: Autoria própria (2022)

Inicialmente calculou-se as vazões dos empreendimentos com base no volume de leite recebido diariamente informado na licença de operação do empreendimento e informados no item 4.1. Considerando que todos os empreendimentos produzem queijo, usou-se o valor de referência de três litros de efluente gerado por um litro de leite processado, conforme estabelece resolução CEMA 070 de 2009, anexo VII.

Na sequência se determinou a vazão média utilizando-se a Equação 1 e 2. Para a vazão máxima e mínima, considerou-se uma variação de 50 %, escolhida com

base na observação no padrão de recebimento de leite por dia, que é variado tanto com relação aos horários e volumes. Tal fato foi necessário pois não houve medição das variações em um dado período.

5.3.1 Dimensionamento gradeamento

Como a vazão (máxima) dos quatro empreendimentos não ultrapassa o valor de 100 L/s ou 0,1 m³/s, serão aplicadas grades manuais, as quais serão dimensionadas na Tabela 8.

Tabela 8: Dimensionamento gradeamento

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
3	Altura máxima (H_{\max} - cm)	8,63	14,12	8,63	9,11
3	Altura mínima (H_{\min} - cm)	5,91	9,67	5,91	6,23
4	Rebaixo (Z - cm)	4,55	7,44	4,55	4,80
5	Área útil (A_u - cm ²)	26	109	26	30
6	Área total (A_t - cm ²)	36	152	36	43
7	Eficiência (E)	0,7143	0,7143	0,7143	0,7143
8	Largura do canal (b - cm)	8,93	22,74	8,93	9,88
9	Comprimento da barra (x - cm)	45,59	49,17	45,59	46,13
10	Perda de carga (h_f limpa - cm)	1,18	1,29	1,18	1,35
10	Perda de carga (h_f suja - cm)	10,57	10,69	10,57	10,75
11	Velocidade a montante (v - cm/s)	44,44	42,76	44,44	41,86
12	Número de barras (n)	3	7	3	3
13	Espaçamento entre parede e grades (e - cm)	0,93	4,24	0,93	1,88

Fonte: Autoria própria (2022)

Considerando os valores de vazão máxima e mínima, a calha Parshall ideal para os quatro empreendimentos é a com abertura (W) de uma polegada, conforme manual apresentado por Digiflow, (2022), a qual estabelece valores das constantes K e n de 1,9 e 2,9, respectivamente, aplicadas na equação 3 para determinação das alturas máxima e mínima.

Seguiu-se aplicando as equações 3, 4, 5 e 6, sendo a área útil como a área onde haverá passagem do efluente e a área total a área perpendicular onde será instalado as grades.

Na equação 7 para cálculo da eficiência da grade, estabeleceu-se um uso de barras cilíndrica com espaçamento (abertura) de 2,5 cm com uma espessura de 1 cm,

sendo escolhida essa barra e espaçamento em função do baixo volume e dos sólidos grosseiros (galhos e folhas) levados para a ETE.

Para cálculo da largura do canal (equação 8), se relaciona a área total com a altura do canal antes da grade, para determinar a altura da lâmina antes da grade se subtrai a altura da lâmina após grade determinada na equação 3 do rebaixo da calha determinado na equação 4.

A perda de carga devido a presença da grade foi calculada considerando a grade limpa e suja (50% de obstrução), para tal se utilizou a equação 9 para determinação da velocidade a montante (v). Observou-se que com a obstrução, a perda de carga aumentou, o que fisicamente faz sentido segundo Metcalf & Eddy, (2016), uma vez que segundo os autores, a perda de carga aumenta com o nível de bloqueio.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, (BRASIL, 2021), nº 12209 estabelece que para grades de limpeza manual, com obstrução de 50% deve-se haver uma perda de carga mínima de 0,15 m, os valores encontrados pelo dimensionamento são respectivamente: 0,1057 m, 0,1069 m, 0,1057 m e 0,1075 m, valores menores que o estabelecido pela norma.

Para determinação do comprimento da barra (equação 9), estabeleceu-se um ângulo de 50°, atendendo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011), nº 12209 para grades de limpeza manual, a perda de carga utilizada foi a com obstrução, altura da tubulação de alimentação do sistema foi 10 cm, resultando em grades com comprimento aproximado de 50 cm.

Quanto ao cálculo do número de barras, o valor foi arredondamento para o número inteiro acima, assim se instalará o respectivo número de barras em cada laticínio: 3, 7, 3 e 3.

5.3.2 Dimensionamento caixa de gordura

Para o dimensionamento da caixa considerou-se um TRH de 3 horas, de acordo com Sperling, (2002) e a vazão utilizada foi a vazão média, optou-se pela utilização desta vazão uma vez que o TRH é baixo e os empreendimentos ficam longos períodos sem recebimentos de leite, sendo o resultado apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Dimensionamento caixa de gordura

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
14	Volume (V - m ³)	11,25	46,87	11,25	13,12

Fonte: Aatoria própria (2022)

O dimensionamento ficou dentro do esperado, considerando os baixos valores de vazão trabalhados dos laticínios estudados portanto, de porte pequeno e médio.

As dimensões e formato da caixa pode variar conforme disponibilidade locacional, porém recomenda-se uma caixa em formato retangular e altura máxima de um metro para facilitar limpeza. Recomenda-se também que a caixa seja construída acima do nível do solo com contenções e impermeabilização em volta, assim se facilita inspeções visuais e em caso de vazamentos não haverá contaminação do solo.

A retirada da gordura superficial deve ser feita todo dia e armazenada em local apropriado até que ocorra a correta destinação dos resíduos.

5.3.3 Dimensionamento calha parshall

Conforme apresentado no referencial, a calha parshall é escolhida de acordo com a vazão, sendo fornecida pronta pelo fabricante, usou-se a caixa disponibilizada pela Digiflow, com abertura de uma polegada.

5.3.4 Dimensionamento tratamento primário

O próximo dimensionamento conforme referencial é o do sistema primário, o qual constitui de um tanque de equalização. Este tanque de acordo com Patrício *et al.* (2021) tem a função de regular a entrada de efluente nas lagoas, uma vez que o recebimento de leite não é constante. Além disso, no tanque de equalização será feita o controle biológico das lagoas, mediante adição do produto biológico descrito no item 5.1.1. Optou-se por um tanque com diâmetro de 3 metros para os laticínios 1, 3 e 4 e diâmetro de 5 m para o laticínio 2 e TRH de 6 horas. O dimensionamento é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10: Dimensionamento tanque equalização

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
14	Volume (V - m ³)	22,50	93,75	22,50	26,25
15	Altura (H - m)	3,18	4,77	3,18	3,71
16	Área (A - m ²)	7,06	19,62	7,06	7,06

Fonte: Aatoria própria (2022)

Observa-se valores altos principalmente quando se compara as alturas, a instalação deve seguir o disposto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, nº 8160 (BRASIL, 1999), podendo ser usado caixas prontas de material polimérico.

5.3.5 Dimensionamento lagoa anaeróbica

A Tabela 11 apresenta o dimensionamento para a lagoa anaeróbica, considerou-se um TRH de 5 dias, média do recomendado (SANTA CATARINA, 2020). O valor coincide com o tempo da Tabela 5, uma vez que segundo Weather Spark (2022) a média da temperatura no mês mais frio do ano (julho) em Francisco Beltrão fica em 11°C.

Tabela 11: Dimensionamento lagoa anaeróbica

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
17	Volume (V - m ³)	450	1.875	450	525
18	Taxa volumétrica λ_v (g/m ³ *d)	956,8	600	2.030,60	400
19	Comprimento (C - m)	15	30,61	15	16,2
20	Largura (L - m)	7,5	15,3	7,5	8,1
21	Área (A - m ²)	112,5	468,75	112,5	131,25
-	Eficiência (% de remoção DBO)	42	42	42	42
32	DBO residual (mg/L)	2774,72	1740	5888,80	1160
33	DBO removida (mg/L)	2009,28	1260	4264,31	840

Fonte: Autoria própria (2022)

Para determinação da taxa volumétrica (equação 18), utilizou-se os valores de DBO bruto dos efluentes. Observa-se que, embora os laticínios 1 e 3 tenham o mesmo volume de recebimento de leite, apresentam taxas distintas em função da DBO de seus efluentes. Embora o laticínio 2 receba uma maior quantidade de efluente, a taxa fica menor indicando que o sistema preliminar do mesmo está bom.

Utilizando-se a equação da Tabela 4, a remoção esperada pela lagoa, ficando os valores dentro do esperado considerando a temperatura média do mês mais frio de 11 °C, a eficiência calculada de 42 % ficou um pouco acima dos valores apresentados na Tabela 5 para um TRH de 5 dias, sendo esperado uma remoção entre 30 e 40 %.

A DBO removida (quantidade removida) foi calculada multiplicando a DBO inicial pela eficiência do processo (equação 32). Para a DBO residual (quantidade que continua) no efluente foi obtida reduzindo da DBO inicial da residual (equação 33).

Percebe-se uma redução considerável dos valores da DQO, sendo removido no laticínio 34264,31 mg/L.

A DBO residual, quando comparada ao valor inicial diminui bastante, o que reduzirá a área requerida pela lagoa aeróbica, uma vez que o dimensionamento da mesma é feito com base na carga orgânica. Sendo assim, a lagoa anaeróbica cumpre com seu objetivo, pois segundo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (1999) essas lagoas são projetadas para uma alta redução da carga orgânica, com baixa área superficial.

5.3.6 Dimensionamento lagoa aerada facultativa

Para o dimensionamento da lagoa aerada facultativa, considerou-se uma temperatura média anual do ar de 19,1 °C, para o município de Francisco Beltrão, de acordo com Weather Spark (2022), sendo essa temperatura considerada como a temperatura do efluente. Para definição da concentração da DQO nesta lagoa, retirou-se do valor bruto o que foi removido na etapa anaeróbica de acordo com a eficiência apresentada na Tabela 12.

Tabela 12: Dimensionamento lagoa aerada facultativa

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
22	Volume (V - m ³)	4.427,74	11.569,15	9.396,93	2.159,57
23	Carga DBO (kg/dia)	1.248,62	3.262,50	2.649,93	609
24	Carga volumétrica (COV - kg/m ³ . d)	0,28	0,28	0,28	0,28
19	Comprimento (C - m)	54,33	87,82	79,15	37,94
20	Largura (L - m)	27,17	43,91	39,57	18,97
21	Área (A-m ²)	1.475,91	3.856,38	3.132,31	719,86
14	Tempo de retenção (TRH - dias)	49,2	30,85	104,41	20,57
32	DBO residual (mg/L)	416,208	261	883,32	174
33	DBO removida (mg/L)	2358,512	1479	5005,48	986

Fonte: Autoria própria (2022)

A vazão foi considerada constante, não considerando efluente que infiltração no solo uma vez que as lagoas serão impermeabilizadas no projeto novo e desprezando as perdas por evaporação. A profundidade escolhida foi de 3,0 metros, conforme literatura e o comprimento adotado foi o dobro da largura (equação 19), aplicou-se as equações 20 e 21 para determinação das outras dimensões.

Fazendo uma comparação com o dimensionamento da lagoa anaeróbica, notou-se um volume consideravelmente maior e uma área superficial também, tais dados são esperados pois a lagoa aeróbica necessita de maior área superficial para fazer as trocas gasosas e para recebimento de luz solar.

Tal fato é observado em campo e visita aos empreendimentos do tipo, lagoas aeradas tendem a possuir maior área quando comparadas as anaeróbicas, o volume também é maior uma vez que o TRH requisitado é mais elevado. O que corrobora com a literatura, onde Sperling, (1996) cita em sua obra que lagoas anaeróbicas são mais profundas, com menor volume e menor área superficial.

Para validação dos dados, calculou-se o TRH da lagoa isolando-o na equação 14, uma vez que para o dimensionamento foi feito com base na concentração de DBO, vazão do empreendimento e do COV. O TRH da literatura para lagoas facultativas possui uma grande faixa de valores, sendo encontrados valores que variam de 7 a 110 dias (MARA & PEARSON, 1992).

Para redução da área demandada pelas lagoas, caso no empreendimento não haja disponibilidade locacional, recomenda-se a instalação de uma segunda lagoa anaeróbica a fim de reduzir ainda mais a carga orgânica de entrada na lagoa aerada e por consequência demais valores. Porém, conforme constado *in loco*, todos os empreendimentos apresentam essa disponibilidade locacional.

Quando na etapa de construção das lagoas, as dimensões devem ser ajustadas considerando a inclinação do talude, a qual segundo recomendação do órgão ambiental é de 45°. As áreas anteriormente calculadas referem-se a área superficial, devendo se ajustar a profundidade de acordo com a equação de volume do trapézio a fim de atender o volume requerido.

Recomenda-se também um aprofundamento ainda de cerca de 0,5 m para garantir que não ocorra vazamento das lagoas em períodos de chuva. A quantidade de geomembrana a ser utilizada para revestimento das lagoas é calculada considerando as equações do trapézio.

O dimensionamento considerou também aproveitamento da gravidade para transferência dos efluentes de uma etapa para outra, porém caso tal disponibilidade não seja encontrada faz-se necessário projetar bombas para escoamento do efluente.

Ainda segundo Sperling (1996) a eficiência esperada para esta etapa, quando bem dimensionada varia de 70 a 90 %, contudo será considerado uma eficiência de 85 % para o conjunto com aeradores, a fim de garantir que o dimensionamento do

biodigestor esteja correta e suporte a carga orgânica de entrada, atendendo também a eficiência apresentada na Tabela 2.

De maneira análoga a lagoa aeróbica, calculou-se a DBO residual e residual, valendo-se das equações 32 e 33, porém a DBO de entrada da lagoa considerada foi a saída da lagoa anaeróbica, ou seja, a DBO residual da Tabela 11. Enquanto a lagoa anaeróbica removeu uma média de 2093 mg/L de DBO, na lagoa aeróbica removeu-se 2457,25 mg/L. Analisando somente os valores removidos, percebe-se que as lagoas removem praticamente a mesma quantidade de MO.

O efluente de saída da lagoa aeróbica apresenta DBO de 416,208 mg/L para o laticínio 1, 261 mg/L para o laticínio 2, 883,32 mg/L para o laticínio 3 e 174 mg/L para o laticínio 4. Tais valores ainda não atendem ao limite de lançamento, que é de 50 mg/L, necessitando assim de um outro processo complementar.

5.3.7 Dimensionamento requisito energia

O cálculo da demanda de energia foi feito considerando os mesmos dados de entrada da lagoa aeróbica e mesma consideração quanto as vazões e perdas.

Como nas análises não houve quantificação de nitrogênio pois não se trata de parâmetro obrigatório de monitoramento, considerou-se o valor de 7,00 mg/L apresentado na caracterização de efluente de laticínios de Borges, Costa e Gontijo, (2019), referente ao efluente bruto, na lagoa aeróbica.

Conforme apresentado na Tabela 2, não há remoção de nutrientes nos tratamentos preliminares e primários. A eficiência de oxigenação apresentada (1,1 kgO₂/kwh) foi multiplicada por 24 para converter em dia.

Tabela 13: Dimensionamento requisito de energia

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
25	Requisito oxigênio (RO - kg/d)	577,12	1.512,85	1.221,72	283,52
26	Potência (Po - kW)	21,86	57,30	46,27	10,73
-	Potência (Po - cv)	29,72	77,90	62,84	14,58

Fonte: Autoria própria (2022)

O número de aeradores depende da potência de cada equipamento a ser instalado, dividindo a potência requerida pela potência do aerador escolhido, arredondando-se o número sempre para cima a fim de suprir a demanda.

5.3.8 Dimensionamento biodigestor em substituição ao tratamento biológico secundário em lagoas

Para o dimensionamento do biodigestor, se considerou a porosidade do material do leito de 95 % (KISPERGHER, 2013), a altura do recheio foi fixada em um metro, respeitando o disposto na Associação Brasileira de Normas Técnicas (BRASIL, 1997), sendo o dimensionamento apresentado na Tabela 14.

Tabela 14: Dimensionamento biodigestor

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
27	Volume do recheio (V_r - m ³)	94,73	394,73	94,73	110,52
28	Largura (L_2 - m)	6,88	14,04	6,88	7,43
29	Altura porção não recheada (h_n - m)	0,20	0,20	0,20	0,20
30	Altura total (h_t - m)	1,40	1,40	1,40	1,40
31	Número de distribuidores (N_d)	32	132	32	37
19	Comprimento (C - m)	13,76	28,09	13,76	14,86
20	Área (A - m ²)	94,73	394,73	94,73	110,52
21	Volume (V - m ³)	132,63	552,63	132,63	154,73
14	Tempo de retenção (TRH - dias)	1,05	1,05	1,05	1,05
32	DBO residual (mg/L)	239,20	150,00	507,66	100,00
33	DBO removida (mg/L)	4.544,80	2.850,00	9.645,46	1.900,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Verificou-se que a área obtida pela equação 20, coincide com o volume do recheio obtido pela equação 21, isso acontece, pois, a altura do recheio é de um metro, ou seja, a área quando multiplicada pela altura para obtenção do volume do recheio, não altera o valor. O volume total do biodigestor é maior pois inclui o volume do *headspace* ao volume do recheio.

Ao fim do biodigestor, deve ser instalado um sistema de captura dos gases, levando-os para um gerador onde haverá a queima e consequente geração de energia, a qual poderá ser aproveitada na propriedade ou lançada na rede pública, caso tenha.

Calculou-se ainda para conferência o TRH, o qual segundo literatura (KISPERGHER, 2013), deve ser de aproximadamente um dia, sendo atendido tal requisito, uma vez que os quatro biodigestores tiveram TRH de 1,056 dias.

Dados da literatura comprovam uma remoção na ordem de 98% da matéria com a aplicação de biodigestores (GANNOUNS *et al.*, 2008), porém tais valores são difíceis de alcançar quando em campo devido a intempéries e questões operacionais, que muitas vezes são manuais e não otimizadas.

Após saírem do biodigestor, o efluente ainda não atende o padrão de lançamento estabelecido por Paraná, 2009. Necessitando assim da implantação de um sistema de polimento terciário para reduzir ainda mais a quantidade de MO presente no efluente.

5.3.9 Pós-tratamento

Após passarem por um dos dois sistemas projetados (biológicos com lagoas de estabilização, ou biodigestor) o efluente demandou ainda de um pós tratamento visando promover ainda mais a redução de MO para atendimento aos padrões ambientais de Paraná, 2009.

Conforme apresentado no referencial e Galvão e Gomes (2018), o pós-tratamento será feito por meio de um biorreator de membranas para micro e ultrafiltração desenvolvido por Pam Membranas (2022). Uma vez que o equipamento é projetado pelo fabricante, em acordo com as características operacionais do empreendimento, não houve dimensionamento para este equipamento.

As características esperadas para o efluente final, após passarem pelo pós tratamento são apresentado na Tabela 15 para o efluente que passou por tratamento em lagoas e pós-tratamento e Tabela 16 para o efluente que passou por tratamento em biodigestor e pós tratamento.

Estudos para utilização do equipamento em escala de bancada, com efluentes de laticínios da região Oeste do Paraná, demonstraram eficiência de mais 90 % na remoção de DQO e DBO, contudo se considerou uma eficiência de 90 % na remoção da DBO (GALVÃO; GOMES, 2018).

Tabela 15: Caracterização final efluente tratado por lagoas

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
32	DBO residual (mg/L)	41,62	26,10	88,33	17,40
33	DBO removida (mg/L)	374,59	234,90	794,99	156,60

Fonte: Aatoria própria (2022)

Tabela 16: Caracterização final efluente tratado por biodigestor

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio 1	Laticínio 2	Laticínio 3	Laticínio 4
32	DBO residual (mg/L)	23,92	15,00	50,77	10,00
33	DBO removida (mg/L)	215,28	135,00	456,89	90,00

Fonte: Aatoria própria (2022)

Considerando as adequações feitas, implementação dos sistemas preliminar, primário, secundário e terciário, taxas de eficiência em remoção supracitadas de 42

% para o primário, 85 % para o secundário e 95 % para o biodigestor, e eficiência de 90 % para o pós-tratamento por filtração é possível aferir que, em caso de implementação do sistema proposto, quase todos os laticínios atenderiam o padrão de lançamento estabelecido pela resolução CEMA 070 de 2009 para DBO que é de 50 mg/L.

Somente o laticínio 3, mediante tratamento por lagoas e microfiltração não atenderia o padrão de lançamento de Paraná (2009), isso pois o empreendimento apresenta quantidade de matéria orgânica muito elevada por receber efluentes de um frigorífico, conforme apresentado no item 5.1.

Sendo que os demais parâmetros deverão ser atendidos também, para comprovação, após estabilização do sistema, deverá ser realizado uma análise na saída do sistema.

Por último, os efluentes deverão ser lançados em curso hídrico, caso o empreendimento tenha outorga para lançamento, caso contrário poderá ser incorporado em solo agrícola, mediante autorização ambiental do órgão competente (PARANÁ, 2009).

Sendo que o método mais adequado depende das condições locais onde o empreendimento está inserido, possibilidade do curso hídrico em receber o efluente, distância e áreas transpassadas pelo emissário.

5.4 Decaimento cinético

A simulação cinética foi aplicada a fim de calcular o tempo de degradação, considerando que a cinética de biodegradação em meio aeróbio seguisse um modelo de primeira ou segunda ordem.

Inicialmente estabeleceu-se três taxas para a DBO remanescente, sendo elas: 75, 50 e 25 %, utilizando a equação 37 determinou-se a DBO remanescente para esses percentuais de acordo com o valor da DBO_{bruta} ou inicial, pois fora quantificada pelas análises laboratoriais.

Uma vez definido isso, aplicou-se os modelos cinéticos para determinação dos tempos necessários para que a concentração da DBO na massa líquida fosse reduzida para os percentuais supracitados, os resultados são representados na Tabela 17.

Tabela 17: DBO remanescente no tempo t

Laticínio	DBO remanescente (mg/L)			
	100%	75%	50%	25%
1	4784	3588	2392	1196
2	3000	2250	1500	750
3	10153,12	7614,84	5076,56	2538,28
4	2000	1500	1000	500

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a cinética de primeira ordem (equação 35), isolou-se o tempo na equação, e uma vez sabendo a DBO inicial e valor correspondente para as taxas (75, 50 e 25%), determinou-se o tempo necessário para que a concentração fosse reduzida para tais níveis.

Nesse modelo utilizou-se um k' de $0,12 \text{ dia}^{-1}$, estabelecido de acordo com Sperling (1996) e Morais *et al.* (2019), o coeficiente de desoxigenação foi corrigido para a temperatura média do ar de Francisco Beltrão, que é de $19,1 \text{ }^\circ\text{C}$ de acordo com Weather Spark (2022), utilizando a equação 36.

O resultado da simulação cinética de primeira ordem, em termos do percentual de DBO removida é apresentada na Tabela 18.

Tabela 18: Simulação cinética primeira ordem

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio	Tempo (d) (1ª ordem)		
			25%*	50%*	75%*
35	Tempo (t – dias)	1, 2, 3 e 4	2,39	5,77	11,55

* Percentual de DBO removido

Fonte: Autoria própria (2022)

Os valores encontrados para esse modelo são condizentes com os resultados dos dimensionamentos, uma vez que o TRH para a lagoa aerada facultativa variou entre os valores de 20 a 100 dias, conforme item 5.2.6 para uma eficiência na ordem de 85 à 90 %.

Os tempos encontrados para os quatro laticínios são iguais, uma vez que a DBO no tempo t e a inicial se relacionam por meio da divisão, e como os valores da DBO no instante T são percentuais da inicial, acaba que a proporção se mantém para todos os casos. Isso significa dizer que independente da concentração inicial de DQO, o tempo requerido para redução de um valor percentual será sempre o mesmo.

Na obra de Matos (2012), considerando uma cinética de primeira ordem, e efluente oriundo de laticínios, ajuste I a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e um tempo de 5,77 dias, obteve-se um

percentual de remoção de 46,15 %. Tal valor coincide com os obtidos nessa pesquisa, uma vez que para um tempo de 5,77, obteve-se 50 % de remoção.

Para o modelo cinético de segunda ordem inicialmente determinou-se os valores da DBO exercida (quantidade de oxigênio consumido) para os mesmos percentuais de redução já trabalhados, sendo os valores representados na Tabela 19.

Tabela 19: DBO exercida no tempo t

Laticínio	DBO exercida (mg/L)			
	100%	75%	50%	25%
1	0	1196	2392	3588
2	0	750	1500	2250
3	0	2538,28	5076,56	7614,84
4	0	500	1000	1500

Fonte: Aatoria própria (2022)

Aplicou-se então o modelo de segunda ordem apresentado na equação 38. Para tal, isolou-se o tempo na equação, o valor de k'' utilizado foi de $1,28 \times 10^{-4} \text{ L d}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ encontrado na obra de Matos (2012) para a temperatura de 20 °C, uma vez que não se encontrou equação para correção do coeficiente em função da temperatura, ou então valores a temperaturas inferiores para interpolar.

Conforme exposto no referencial, a DBO exercida em um tempo qualquer equivale aos valores da Tabela 19, já a DBO última equivale ao valor da DBO exercida no infinito, quando toda a MO foi consumida, isso é, toda a demanda de oxigênio foi necessária, equivalendo então ao valor da DBO remanescente inicial.

O resultado do dimensionamento cinético de segunda ordem, em termos do percentual de DBO removida é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: Simulação cinética de segunda ordem

Equação	Sigla – Unidade de medida	Laticínio	Tempo (d) (2ª ordem)		
			25%*	50%*	75%*
40	Tempo (t – dias)	1	0,54	1,63	4,89
40	Tempo (t – dias)	2	0,86	2,60	7,81
40	Tempo (t – dias)	3	0,25	0,76	2,30
40	Tempo (t – dias)	4	1,30	3,90	11,71

* Percentual de DBO removido

Fonte: Aatoria própria (2022)

Análogo ao dimensionamento de primeira ordem, os valores encontrados para os tempos de redução apresentam tempos bem abaixo dos valores dimensionados

para a lagoa secundária. Porém, por este modelo percebe-se que o tempo varia de acordo com a concentração inicial, não sendo sempre o mesmo para todos os empreendimentos, uma vez que varia em função da concentração ao quadrado. Morais *et al.* (2019) citam em sua obra que os modelos de segunda ordem é mais complexo quando comparado ao de primeira.

Erros podem estar relacionados também à não correção da constante cinética para a temperatura requerida, o que poderia acarretar em valores mais próximos ao dimensionados. Porém, segundo Sperling (1996) a progressão da DBO remanescente é expressa por uma cinética de primeira ordem. Outros autores como, Morais *et al.* (2019) e Matos (2012) também concluíram em seus trabalhos pela utilização do modelo de primeira ordem para estudo da remoção de MO em águas residuárias.

5.5 Análise estatística

Embora analisados, os parâmetros óleos e graxas, óleos minerais e pH não foram analisados estaticamente pois não apresentaram limite de lançamento estabelecido pela resolução CEMA 070, anexo VII.

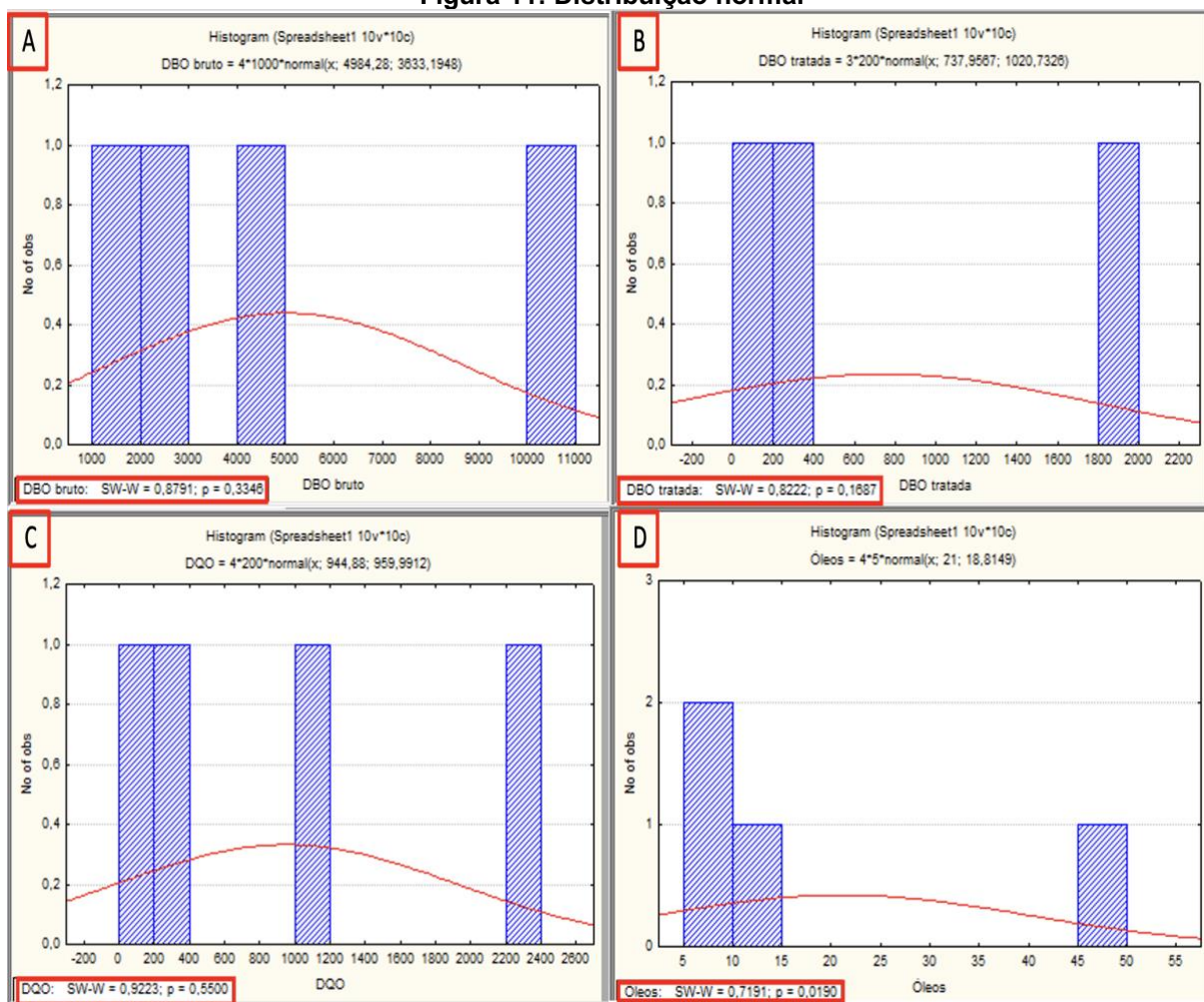
A toxicidade *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, embora apresente padrão de lançamento, não passou por análise estatística, pois só foi quantificada em dois laticínios, sendo que em um dos empreendimentos atendeu ao limite e no outro não, não sendo possível calcular devido ao grau de liberdade.

Para a DBO_{bruta} , $DBO_{tratada}$, DQO e Óleos Vegetais e Gorduras Animais analisou-se os dados estatísticos dos quatros laticínios, com exceção ao parâmetro $DBO_{tratada}$, que não teve quantificação para o laticínio 4, dessa maneira analisou-se os resultados dos laticínios 1 ao 3.

Avaliou-se a distribuição dos dados, a fim de se comprovar a normalidade da distribuição. Os parâmetros, a DBO_{bruta} , $DBO_{tratada}$, DQO apresentaram distribuição normal uma vez que o valor de p_{value} ficou acima de 0,05, para o nível de significância de 5 %. Já o parâmetro Óleos Vegetais e Gorduras Animais não apresentou distribuição normal, uma vez que o valor de p_{value} ficou abaixo do valor de 0,05.

Na Figura 11, estão apresentados os histogramas referentes ao teste de distribuição. Sendo o histograma A referente a DBO_{bruto} , histograma B referente a $DBO_{tratada}$, histograma C referente a DQO e histograma D referente a Óleos e graxas e gordura animal, o valor de p_{value} encontra-se destacado na caixa em vermelho.

Figura 11: Distribuição normal



Legenda: A: DBO_{bruto}, B: DBO_{tratado}, C: DQO e D: Óleos vegetais e gorduras animais

Fonte: Autoria própria (2022)

6 CONCLUSÃO

Com a realização desta pesquisa e análise aos resultados analíticos, chegou-se a um efluente bruto com características médias de: 4984,28 mg/L de DBO, 10266,47 mg/L de DQO, 1002 mg/L de óleos animais e gorduras vegetais, 512 FT de toxicidade *Daphnia magna* e 4 FT de toxicidade *Vibrio fischeri*. Já o efluente tratado possui as seguintes características médias: 737,96 mg/L de DBO, 944,88 mg/L de DQO, 16 mg/L de óleos animais e gorduras vegetais, 256,5 FT de toxicidade *Daphnia magna* e 1,5 FT de toxicidade *Vibrio fischeri*.

Os laticínios 1 e 4, cujo destino final é a incorporação do efluente em terras agrícolas, apresentaram os piores resultados, não atendendo a norma em 3 e 2 parâmetros respectivamente, não sendo possível a quantificação da DBO tratada no laticínio 4. Os valores se distanciaram dos valores permitidos, ultrapassando o limite em mais de 370 % para DBO e 1000 % para DQO no laticínio 1 e 450 % para DQO no laticínio 4.

Esses empreendimentos estudados devem se adequar para que não causem impactos maiores onde se encontram. Referente ao dimensionamento, todo o sistema preliminar deverá ser refeito e adequado conforme projeto proposto uma vez que nenhum apresenta equipamentos como calha parshall ou então tanque de equalização.

Já o tratamento secundário (biológico), deverá ser refeito atualizando, demandando de adequações em todas as lagoas, conforme projeto e instalação de aeradores.

O tratamento secundário realizado por biodigestor em substituição as lagoas apresenta viabilidade para implementação, alcançando boas taxas de remoção, obtendo um efluente ao final com características semelhantes ao sistema de lagoas. Com a utilização do pós-tratamento por filtração por membranas biológicas, todos os laticínios passam a atender os padrões para lançamento.

Uma vez elaborado, o projeto deverá passar por análise do órgão ambiental competente para avaliação e em caso de aprovação, a instalação deverá proceder de acordo com cronograma de realização das obras, sendo acompanhado de perto pelo profissional que executará a obra.

A simulação cinética de primeira ordem foi a que melhor se adaptou aos dados dos empreendimentos, resultando em um tempo de aproximadamente 12 dias para remoção de 75 % da DBO na lagoa aerada.

A análise estatística concluiu que os parâmetros DBO (tratada e bruta) e DQO apresentam distribuição normal par um nível de significância de 5 %, enquanto o parâmetro óleos animais e gorduras vegetais, não apresentou distribuição normal.

Como sugestão para pesquisas futuras, deve-se ainda na etapa de planejamento amostral e experimental, prever a realização de todas as amostras em triplicata para que ocorra representatividade dos dados e em caso de não quantificação de uma das amostras, ainda se torne possível aplicar os testes estatísticos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTICÍAS. Paraná é o segundo maior produtor de leite do país. Curitiba. 2016. Disponível em:

<https://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=91046>. Acesso em: 08 set. 2021.

AHMAD, Talha *et al.* Treatment and utilization of dairy industrial waste: a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 88, p. 361-372, jun. 2019. Elsevier BV. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224418309208>. Acesso em: 14 fev. 2022.

ALVES, Anelisiane Maria *et al.* Proposta de metodologia de dimensionamento para biodigestores tubulares. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 13, p. 407101321172, 17 out. 2021. Research, Society and Development. Disponível em:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiC9_zo2pX6AhX_ILkGHZtGDSOQFnoECAMQAw&url=https%3A%2F%2Frsdjournal.org%2Findex.php%2Frsd%2Farticle%2Fdownload%2F21172%2F19039%2F258432&usq=AOvVaw2rWwa4K1g8Ubd_kfzR14zz. Acesso em: 14 fev. 2022.

AMORIM, Ronaldo Feliciano de. **TRATAMENTO DE EFLUENTES EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM INDÚSTRIA DE LATICÍNIO NA REGIÃO DO VALE DO JAMARI - RO.** 2014. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ariquemes, 2014. Disponível em:

<https://ri.unir.br/jspui/bitstream/123456789/448/1/AMORIM%2c%20Ronaldo%20F.%20de.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 23º ed., Washington – USA, 2017. Disponível em:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=4&sid=f9bcdf05-8b9a-42a5-abe5-8b2af4e4f23c%40redis&bdata=Jmxhbm9cHQtYnlmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZSZZY29wZT1zaXRI#AN=utfpr.283967&db=cat07269a>. Acesso em: 14 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160:** Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: Isbn, 1999. Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17500/material/NBR%208160%20Sistemas%20prediais%20de%20esgoto%20sanitário-%20projeto%20e%20execução.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:** Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2 ed. Rio de Janeiro: Isbn, 2011. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/documentos-e-publicacoes/outros-sites/122092011Elaboraodeprojetoshidraulicossanitriosdeestaesdetratamentodeesgotossanitrios.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda — Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustácea, Cladocera). Rio de Janeiro: Isbn, 2016. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/joaquimgoncalvesmac hadoneto/nbr12713-2016-toxic-aguda-daphnia.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: Isbn, 1997. Disponível em: https://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf. Acesso em: 14 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15411-3**: Ecotoxicologia aquática — Efeito inibitório sobre a bioluminescência de *Vibrio fischeri* — Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas. Rio de Janeiro: Isbn, 2012. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/39205/nbr15411-3-ecotoxicologia-aquatica-efeito-inibitorio-sobre-a-bioluminescencia-de-vibrio-fischeri-parte-3-metodo-utilizando-bacterias-liofilizadas>. Acesso em: 14 set. 2022.

BORGES, Thayná Nunes; COSTA, Raíssa Miranda; GONTIJO, Hebert Medeiros. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios: proposta de tratamento. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 1-19, 1 Jan. 2019. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i1.742>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/742/609>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Brasília, Disponível em: http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/8Legislacao/Res_CONAMA/Resolucao_CONAMA_430_2011.pdf. Acesso em: 08 set. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 503, de 16 de dezembro de 2021. Brasília, Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-conama-n-503-de-14-de-dezembro-de-2021-367783680>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Mapa do leite**. 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/portal-do-leite/mapa-do-leite/>. Acesso em: 01 set. 2021.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL**. 2020b. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2019_v47_br_informativo.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Nacional De coleta e Preservação De amostras. Brasília: Cedoc/Biblioteca, 2011. 326 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

CICHELLOA, Giovana Carolina Ventriglia; RIBEIROA, Rogers; TOMMASOB, Giovana. Characterization and Kinetics of the Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters. **Unopar Científica. Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 15, p. 27-40, 2013. Disponível em:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjxx8_b3ZX6AhXKLrkGHcBCADEQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Frevista.pgsskroton.com%2Findex.php%2FJHealthSci%2Farticle%2Fdownload%2F773%2F741&usg=AOvVaw3UEQglorGixp9mgMUd9Pz3. Acesso em: 14 set. 2022.

DAVIS, Mackenzie *et al.* **Tratamento de Águas para Abastecimento e Residuárias - Princípios e Práticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. Disponível em: <https://eds.s.ebscohost.com/eds/search/basic?vid=0&sid=f9bcdf05-8b9a-42a5-abe5-8b2af4e4f23c%40redis>. Acesso em: 14 set. 2022.

DEMIREL, Burak *et al.* Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**, [S.L.], v. 40, n. 8, p. 2583-2595, jul. 2005. Elsevier BV. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/260424149_Anaerobic_treatment_of_dairy_wastewaters_A_review. Acesso em: 14 set. 2022.

DIGIFLOW (Brasil). **CALHA PARSHALL**. 2022. Disponível em: <http://www.digiflow.com.br/pdf/1-17-2.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

DUNOYER, Arnulfo Tarón; CUELLO, Rafael Emilio González; SALINAS, Rosangela Perez. Biodegradation of dairy wastes using crude enzymatic extract of *Yarrowia lipolytica* ATCC 9773. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 1, 14 fev. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2448>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/LYCdgsCbtGTjPNz7d9HHhKh/?lang=en>. Acesso em: 14 maio 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2019). **Sistemas de Tratamento de Dejetos Suínos**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/19.html>. Acesso em: 02 jun. 2022.

GALVÃO, Douglas Felipe; GOMES, Eliane Rodrigues dos Santos. Pós-tratamento de efluentes de indústria de laticínios por processos de separação por membranas. **Ambiência**, Guarapuava, v. 14, n. 3, p. 594-613, dez. 2018. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2018.03.12>. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Pós-tratamento-de-efluentes-de-indústria-de-latic%C3%ADnios-por-processos-de-separação-por-membranas.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

GANNOUN, H *et al.* Ecological clarification of cheese whey prior to anaerobic digestion in upflow anaerobic filter. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 99, n. 14, p. 6105-6111, set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.037>. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/5610254_Ecological_clarification_of_cheese_whey_prior_to_anaerobic_digestion_in_upflow_anaerobic_filter. Acesso em: 30 ago. 2022.

GOLI, Amin *et al.* A Review on Different Aerobic and Anaerobic Treatment Methods in Dairy Industry Wastewater. **Journal Of Environmental Treatment Techniques**, [S.L.], v. 07, p. 113-141, 30 mar. 2019. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3984721. Acesso em: 02 jun. 2022.

GOMES, Vinícius Marques *et al.* AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES GERADOS EM INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS. **Colloquium Exactarum**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 29-37, 23 ago. 2017. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ce.2017.v09.n3.e202>. Disponível em: <https://revistas.unoeste.br/index.php/ce/article/view/2226/2050>. Acesso em: 14 fev. 2022.

JORNAL DE BELTRÃO. Paraná terá a maior fábrica de queijos do Brasil, e será em São Jorge d'Oeste. **Jornal de Beltrão**. Francisco Beltrão, p. 0-1. 22 jul. 2020. Disponível em: <https://jornaldebeltrao.com.br/regional/parana-tera-a-maior-fabrica-de-queijos-do-brasil-e-sera-em-sao-jorge-d-oeste/>. Acesso em: 03 ago. 2022.

JOSHIBA, G. Janet *et al.* Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. **Desalination And Water Treatment**, [S.L.], v. 160, p. 94-109, 2019. Desalination Publications. <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2019.24194>. Disponível em: https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_160_papers/160_2019_94.pdf. Acesso em: 16 maio 2022.

JUNHO, Alana Lopes *et al.* Treatment of wastewater from the dairy industry with Moringa Oleífera using two different methods. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 21710716514, 18 jun. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16514>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16514/14987>. Acesso em: 17 maio 2022.

KAR, Jayaranjan R. *et al.* Pilot scale production, kinetic modeling, and purification of glycine betaine and trehalose produced from *Actinopolyspora halophila* (MTCC 263) using acid whey: a dairy industry effluent. **Chemical Engineering Science**, [S.L.], v. 163, p. 83-91, maio 2017. Elsevier BV. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312337864_Pilot_scale_production_kinetic_modeling_and_purification_of_glycine_betaine_and_trehalose_produced_from_Actinopolyspora_halophila_MTCC_263_using_acid_whey_A_dairy_industry_effluent. Acesso em: 17 maio 2022.

KISPERGHER, Eduardo Muchiutt. **Digestão Anaeróbica de efluentes da indústria de alimentos**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/32034/R%20-%20D%20-%20EDUARDO%20MUCHIUTTI%20KISPERGHER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 maio 2022.

MARA, D. D; PEARSON, H. W. Waste Stabilization Ponds: A Design Manual for Eastern Africa Lagoon Technology International Ltd. **Leeds, UK**, 1992. Disponível

em: <https://archive.org/details/wastestabilisati0000unse/page/n1/mode/2up>. Acesso em: 13 set. 2022.

MATOS, Mateus Pimentel de. **Efeito do binômio tempo-temperatura de incubação da amostra na demanda bioquímica de oxigênio de diferentes águas residuárias**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7721/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2022.

MATOS, Mateus Pimentel de *et al.* Effect of time-temperature binomial in obtaining biochemical oxygen demand of different wastewaters. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 332-340, abr. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162014000200014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/Xcr8tTMZgWn6dcLGcPHgYYz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 31 ago. 2022.

METCALF AND EDDY INC. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Porto Alegre: AMGH, 2016. ISBN 978858055233. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000008168&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 13 set. 2022.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. *Revista Dae*, [S.L.], v. 67, n. 215, p. 40-55, 2019. **Revista DAE**. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.004>. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43168/1/2019_art_absantos.pdf. Acesso em: 20 maio 2022.

MORAIS, Naassom Wagner Sales *et al.* Caracterização físico-química e determinação de coeficientes cinéticos aeróbicos de remoção da matéria orgânica de águas residuárias agroindustriais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 489-500, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020190220>.

PAM MEMBRANAS. **Soluções tecnológicas utilizando micro e ultrafiltração**. 2022. Disponível em: <https://www.pam-membranas.com.br/em-branco-cwfi>. Acesso em: 20 out. 2022.

PARANÁ (Estado). Resolução nº CEMA 070, de 01 de outubro de 2009. Curitiba, Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=144192>. Acesso em: 08 set. 2021.

PARANÁ (Estado). Lei nº 12.726, de 26 de novembro de 1999. Curitiba, PR, Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=241036>. Acesso em: 11 maio 2022.

PARANÁ (Estado). Portaria nº 256, de 16 de novembro de 2013. Curitiba, Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=258810>. Acesso em: 08 set. 2021.

PATRÍCIO, Antônio Rodrigues *et al.* Gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos da produção de produtos de laticínios de qualidade superior com dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes a ser implantada em uma indústria localizada em Uberaba-MG, Brasil. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 37278-37292, 12 abr. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n4-272>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/28033/22200>. Acesso em: 14 fev. 2022.

POKRYWIECKI, Ticiane Sauer *et al.* AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS Evaluation of treatment process of dairy effluent. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [S.L.], v. 11, p. 155, 21 out. 2013. Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR. <http://dx.doi.org/10.7213/academica.10.s01.ao18>. Disponível em: <file:///C:/Users/lucaskruger/Downloads/11444-18314-1-SM.pdf>. Acesso em: 08 set. 2021.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR PROCESSO ANAERÓBICO E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO**. 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso em: 13 set. 2022.

RAGHUNATH, B. V *et al.* Impact of Dairy Effluent on Environment—A Review. **Integrated Waste Management In India**, [S.L.], p. 239-249, 2016. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-27228-3_22. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rajarajan-G/publication/301341877_Impact_of_Dairy_Effluent_on_Environment-A_Review/links/59fff680a6fdcca1f29efa7f/Impact-of-Dairy-Effluent-on-Environment-A-Review.pdf. Acesso em: 16 maio 2022.

SANTA CATARINA. COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS**. 2020. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>. Acesso em: 13 set. 2022.

SÃO PAULO. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **NTS 230**: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo. 1 ed. São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www3.sabesp.com.br/normastecnicas/nts/nts230.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2022.

SILVA, Francielen Kuball; EYNG, Jonathan. O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE TRATAMENTO COMBIOFLITRO E COM O SISTEMA CONVENCIONAL DE LAGOAS1. **Gestão Sustentável Ambiental**, Florianópolis, v. 1, p. 4-22, out. 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/USER/Downloads/1082-2129-2-PB.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SILVA, Lilian Danielli da *et al.* Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista Geama –Ciências Ambientais e Biotecnologia**, Recife, v. 5, p. 36-40, abr. 2019. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2477/482483028>. Acesso em: 14 fev. 2022.

SILVA, Roselir Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; NOGUEIRA, Ina de Souza. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio Pomba, p. 217-228, abr. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/SzF6yPQVXyTPZN6kr9Ytmdf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SOUZA, Gabriela Brito de *et al.* ANÁLISE DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DAS INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS. **Agronegócio e Sustentabilidade**: métodos, técnicas, inovação e gestão, [S.L.], p. 106-128, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/211206868>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Junior-36/publication/357357287_ANALISE_DAS_ETAPAS_DE_PRODUCAO_E_TRATAMENTO_DE_EFLUENTES_DAS_INDUSTRIAS_DE_LATICINIOS/links/61cc4584b8305f7c4b0b83fa/ANALISE-DAS-ETAPAS-DE-PRODUCAO-E-TRATAMENTO-DE-EFLUENTES-DAS-INDUSTRIAS-DE-LATICINIOS.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

SOUZA, W. D. **Filtro Anaeróbico tipo Cynamon adaptado para tratamento de efluentes da indústria de laticínios**. 2019, p. 43. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019. 61. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/7136/3/WEBERTON%20DANTAS%20DE%20SOUSA%20-%20DISSERTAÇÃO%20PPGSA%20ACADÊMICO%202019.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 1) ISBN 85-7041-114-6. Disponível em: https://www.academia.edu/39149408/Introdução_à_qualidade_das_águas_e_ao_tratamento_de_esgotos. Acesso em: 15 ago. 2022.

SPERLING, Marcos Von. **Lagoas de estabilização**. 3. ed. amp. e atual. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2017. 196 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 3). ISBN 9788542301823.

SPERLING, Marcos Von. **Lodos ativados**. 2. ed. ampl. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2002. 428 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 4). ISBN 8570411294.

TEIXEIRA, P. T. R. Aspectos e agrônômicos da disposição de efluentes de laticínios no solo. 2020, Dissertação (Mestrado em conservação dos recursos naturais do cerrado) – Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

VIDAL, Ana Maria Centola; NETTO, Arlindo Saran. **Obtenção e processamento do leite e derivados**. Pirassununga: Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2018. 221 p. Disponível em:
<https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/download/200/181/850?inline=1>. Acesso em: 22 out. 2022.

WEATHER SPARK (Brasil). **Clima e condições meteorológicas médias em Francisco Beltrão no ano todo**. 2022. Disponível em:
<https://pt.weatherspark.com/y/29575/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Francisco-Beltr%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ANEXO A - Ofício nº 22/2021 – PPGEA-FB

28/06/2021

SEI/UTFPR - 2104679 - Ofício



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
 UTFPR - CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO
 DIRETORIA GERAL - CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO
 DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - CAMPUS
 FRANCISCO BELTRÃO
 PROGRAMA DE POS-GRAD EM ENG AMBIENTAL-FB
 Linha Santa Bárbara, s/n - CEP 85601-970 - Francisco Beltrão - PR -
 Brasil
 Telefone: (46) 3520-2607 - www.utfpr.edu.br



 Ofício nº 22/2021 - PPGEA-FB

Francisco Beltrão, 25 de junho de 2021;
 111º da Criação, 15º da Transformação.

Ao Sr.

Dirceu Abatti

Chefe Regional

Instituto Água e Terra (IAT) - Escritório Regional de Francisco Beltrão

Assunto: Geral: Análise e Encaminhamento de Documentos

Referência: Caso responda este Ofício, indicar expressamente o Processo nº 23064.027341/2021-16.

Prezado Senhor,

Vimos por meio deste declarar que o pós-graduando **Lucas Kruger Santos**, CPF 06757053985, registro acadêmico nº 1488996, está matriculada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental (PPGEA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão - UTFPR-FB.

Ainda, que o pós-graduando supracitado está desenvolvendo seu trabalho de mestrado intitulado "Análise do tratamento e destinação de efluentes de laticínios da região sudoeste do Paraná: um estudo de caso" cuja temática principal abrange a grande área de "Tratamento de Águas Residuárias" e solicitamos que parte de suas atividades seja realizada com a cooperação do Instituto Água e Terra (IAT), no período de 28/06/2021 a 25/02/2022.

O aluno está sob orientação da Prof.a Dr.a Fernanda Batista de Souza por parte da UTFPR-FB, tendo como coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental a Prof. Dra. Thalita Grandó Rauen, que assinam este documento.

Sem mais para o momento,

Atenciosamente,

Fernanda Batista de Souza
 Professora orientadora