

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
SABRINA RESENDE SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA O EFLUENTE
GERADO EM INDÚSTRIA DE LATICÍNIO DE PEQUENO PORTE

FORMIGA – MG

2017

SABRINA RESENDE SILVA

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO
COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA O EFLUENTE GERADO EM
INDÚSTRIA DE LATICÍNIO DE PEQUENO PORTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva

FORMIGA – MG

2017

S586 Silva, Sabrina Resende.
Dimensionamento de um sistema de lagoas de estabilização como proposta de tratamento para o efluente gerado em indústria de laticínio de pequeno porte / Sabrina Resende Silva. – 2017.
47 f.

Orientador: Rodrigo Duarte Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Laticínios. 2. Tratamento de efluentes. 3. Lagoas de estabilização.
I. Título.

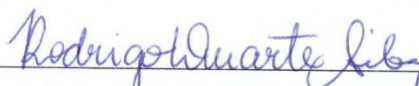
CDD 628.351

Sabrina Resende Silva

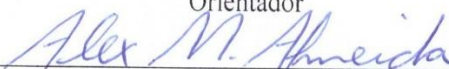
DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO
COMO PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA O EFLUENTE GERADO EM
INDÚSTRIA DE LATICÍNIO DE PEQUENO PORTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

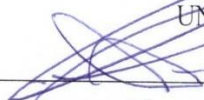
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Rodrigo Duarte Silva
Orientador



Prof. Dr. Alex Magalhães de Almeida
UNIFOR-MG



Prof. Msc. Fernando César Silva Lage
UNIFOR-MG

Formiga, 30 de outubro de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a capacidade de alcançar esta conquista, dando-me força, sabedoria e persistência.

A minha mãe, que é meu exemplo e sempre me apoiou em minhas decisões, não medindo esforços para que eu fizesse desse sonho realidade.

Ao UNIFOR-MG, pela oportunidade de aprendizagem proporcionada.

Ao meu orientador, pela disponibilidade, auxílio, atenção e conhecimentos compartilhados.

Aos professores integrantes da banca examinadora, pelas correções e sugestões passadas.

Aos docentes, discentes e funcionários que direta, ou indiretamente, contribuíram para minha formação.

RESUMO

O setor industrial brasileiro de leite e seus derivados possui um papel fundamental na economia nacional e está entre os primeiros colocados na produção mundial. Entretanto, o ramo dos laticínios é um dos principais poluidores dos recursos hídricos por gerar efluentes com alta carga orgânica que, muitas vezes, são despejados nos corpos d'água sem o tratamento adequado, resultando em graves impactos ambientais. O tratamento destes efluentes pode acontecer pela combinação de métodos físicos, químicos e biológicos. Ao final do tratamento, as características dos efluentes devem obedecer aos parâmetros estabelecidos pelas legislações pertinentes. Neste contexto, realizou-se uma revisão bibliográfica para o levantamento da produção de laticínios no Brasil, geração de resíduos, características dos efluentes, impactos gerados e tipos de tratamentos aplicados aos efluentes dessa atividade. A partir dos dados obtidos, efetuou-se o dimensionamento de um sistema de tratamento que fosse eficiente para tratar o efluente de uma pequena empresa de laticínios, a qual processa 15000 litros de leite por dia para produção de iogurte. O sistema dimensionado constituiu-se de um sistema de lagoas de estabilização composto de uma lagoa anaeróbia seguida de duas lagoas facultativas. Realizados os cálculos, os resultados estimados mostraram-se satisfatórios e condizentes com as normas: uma redução de carga orgânica de 2500 mg/L (efluente) para 30 mg/L (afluente). Sendo assim, empresas de pequeno porte poderão utilizar os resultados obtidos como modelo, visto que o sistema proposto é um projeto simples, economicamente viável e eficiente.

Palavras-chave: Laticínios. Tratamento de efluentes. Lagoas de estabilização.

ABSTRACT

The Brazilian dairy industry has a fundamental role in the national economy and is ranked among largest dairy producers in the world. Unfortunately, the dairy industry is one of the main polluters of water resources because it generates a large amount of effluents with high organic load, which are often dumped into bodies of water without proper treatment, resulting in serious environmental impacts. These effluents can be treated by the combination of physical, chemical and biological methods. At the end of the treatment process, the effluent characteristics must comply with the parameters established by the respective legislation. In this context, a literature review was carried out to acquire information about the dairy production in Brazil, the waste generation by Brazilian dairy industry, the characteristics of the effluents it generates and their impacts, and the types of treatments that may be applied to the effluents of this activity. Then, from the obtained data, a system was designed for the efficient treatment of effluent generated by a small dairy company, which processes 15,000 liters of milk per day for the production of yogurt. The system consisted of stabilization ponds: an anaerobic one followed by two facultative ones. The estimated results of the system were satisfactory and agreed with the standards: a reduction of organic load from 2,500 to 30 mg / L. Therefore, small companies can use the results obtained in this work as a guide for the design of wastewater treatment systems, since the proposed system is simple, economically feasible and potentially efficient.

Keywords: Dairy products. Wastewater treatment. Stabilization ponds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo de leite no Brasil ao longo dos anos.....	16
Figura 2: Potencial de geração de biogás de laticínios.....	17
Figura 3: Distribuição da vazão gerada de efluentes líquidos.....	20
Figura 4: Sistema australiano.....	28
Figura 5: Modelos de regime hidráulico.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais laticínios no Brasil em 2015 de acordo com o volume de leite processado.....	16
Tabela 2: Composição média do leite de vaca no Brasil.....	18
Tabela 3: Estimativa de volume de efluentes gerados.....	19
Tabela 4: Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes unidades industriais de laticínios.....	21
Tabela 5: Relação entre taxa de aplicação volumétrica em função da temperatura.....	29
Tabela 6: Eficiência de remoção de DBO em função da temperatura.....	30
Tabela 7: Padrões para lançamento de efluentes líquidos- DN COPAM/CERH 01/2008.....	36
Tabela 8: Resultados do dimensionamento das lagoas.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Relação entre tipo de atividade, potencial poluidor e porte do empreendimento..	24
Quadro 2: Níveis de tratamento de efluentes.....	25

LISTA DE SIGLAS

BRM	Biorreatores com membranas
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Deliberação Normativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETEI	Estação de Tratamento de Esgoto Industrial
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MF	Microfiltração
NF	Nanofiltração
O & G	Óleos e graxas
OR	Osmose reversa
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIAM	Sistema Integrado de Informação Ambiental
SIF	Serviço de Fiscalização Federal
SILEMG	Sindicato da Indústria de Laticínios do Estado de Minas Gerais
SS	Sólidos Sedimentáveis
SSV	Sólidos em Suspensão Voláteis
UF	Ultrafiltração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1	Indústria de laticínios.....	15
3.2	Geração de resíduos e efluentes em indústrias de laticínios.....	18
3.3	Impactos ambientais gerados pelo efluente de laticínios.....	22
3.4	Tipo de tratamento de efluentes em indústria de laticínios.....	24
3.4.1	Tratamento preliminar.....	25
3.4.2	Tratamento primário.....	25
3.4.3	Tratamento secundário.....	26
3.4.4	Tratamento terciário.....	26
3.5	Tratamento secundário por sistema de lagoas.....	27
3.5.1	Dimensionamento de lagoas anaeróbias e facultativas.....	28
3.5.1.1	Lagoas anaeróbias.....	28
3.5.1.2	Lagoas facultativas.....	30
3.6	Legislação para o lançamento de efluentes da indústria de laticínios.....	34
4	METODOLOGIA.....	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41
	APÊNDICE A - Planta da lagoa anaeróbia.....	46
	APÊNDICE B - Planta das lagoas facultativas.....	47

1 INTRODUÇÃO

Com um crescimento populacional cada dia mais acelerado e o setor industrial em constante expansão, nossa sociedade se ampliou de forma descontrolada, tendo como consequência um aumento exponencial na geração de resíduos e efluentes (BARBOSA E IBRAHIN, 2014). O acréscimo no volume de efluentes, associado à restrição de área e uma legislação ambiental limitativa, abriu espaço para que novas tecnologias e processos de tratamento pudessem ser desenvolvidos (WAEKENS, 2010).

A preocupação com o tratamento e a destinação final de efluentes gerados no setor industrial vem sendo salientada ao longo dos anos na busca de minimizar os impactos já gerados, controlando as causas e reduzindo os danos (SILVA, 2011a). A composição do efluente depende do tipo de indústria que o produz. Sendo assim, é preciso que cada uma caracterize, quantifique e trate adequadamente seus rejeitos e efluentes antes de descartá-los no ambiente (TOLENTINO, 2015).

Os efluentes provenientes da indústria de laticínios possuem uma elevada carga orgânica, o que os torna problemáticos do ponto de vista ambiental. Se forem descartados em corpos d'água sem tratamento prévio adequado, podem causar graves danos à vida aquática (DANIEL, 2008). Estima-se que a produção atual de leite no Brasil seja de 33,6 bilhões de litros anuais, ocupando papel significativo no abastecimento de alimentos e geração de empregos. O Brasil detém o segundo maior rebanho leiteiro do mundo, estando abaixo unicamente da Índia (BRASIL, 2017). Em 2006, existiam mais de mil laticínios constituídos regularmente em Minas Gerais. Desse total, 84% descartavam seus efluentes sem nenhum tipo de tratamento em corpos receptores (SEBRAE;SILEMG;UFV, 2006 apud SILVA, 2011a)¹. A realização de pesquisas na área de tratamento de efluentes pode levar o surgimento de tecnologias viáveis para o adequado tratamento dos efluentes gerados neste setor, reduzindo os danos aos corpos receptores destes efluentes (SILVA, 2011a).

Em processos industriais, é necessário que a água utilizada tenha alto teor de pureza, de modo a evitar problemas como contaminação durante o processo produtivo, comprometimento das tubulações e corrosão (GAUTO E ROSA, 2011). No processo produtivo de laticínio não é diferente; necessita-se de rigoroso controle de higiene, dado o risco de contaminação de seus produtos. Em decorrência desse fato, gerar é gerada uma grande quantidade de efluentes que podem comprometer os recursos hídricos e o solo (BARBOSA E IBRAHIN, 2014).

¹ SEBRAE/SILEMG/UFV. **Diagnóstico da indústria de laticínios do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2006.

Dependendo das condições de processo e dos produtos fabricados, o processo de tratamento de efluentes da indústria de laticínios pode ser constituído de processos físicos e biológicos. Geralmente, são três as etapas principais: tratamento preliminar (método físico), tratamento primário (método físico) e tratamento secundário (método biológico) (Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG, [2014?]).

Todo o processo de tratamento de efluentes compõe-se de etapas como, por exemplo, caixa de areia, tanque de equalização, decantador, caixa de gordura, reator anaeróbio de fluxo ascendente, lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e lagoas aeradas facultativas. Ao fim do processo, o efluente tratado deve atender as exigências ambientais e os parâmetros de lançamento estabelecidos por lei (SANTOS, 2010). A quantidade de matéria orgânica biodegradável presente no efluente do laticínio faz com que o tratamento mais eficiente seja do tipo biológico, no qual o efluente entra em contato com uma cultura de microrganismos que irão degradá-lo. Esse tipo de tratamento pode ser realizado na presença de oxigênio (aeróbio) ou na ausência (anaeróbio). O método aeróbio possui grande capacidade de depuração, porém há uma alta geração de lodo residual e o tempo necessário para o tratamento é maior. Já o método anaeróbio possui uma eficiência menor que o aeróbio, mas a geração de lodo residual é bem menor e o processo é mais rápido (SCHOENINGER, 2005).

Em função da importância deste assunto para a sociedade contemporânea, o objetivo do presente estudo foi propor um sistema de tratamento biológico por lagoas de estabilização para efluentes gerados em laticínios. Inicialmente, buscou-se informações estatísticas sobre a produção da indústria de laticínios, bem como a quantidade, características dos efluentes e impactos gerados por essa atividade para, a partir de então, dimensionar um sistema de tratamento que fosse eficiente e atendesse as exigências ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Projetar um sistema de lagoas de estabilização capaz de tratar os efluentes gerados em uma indústria de laticínios de pequeno porte de modo a atender à legislação.

2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar equações e parâmetros para a realização do dimensionamento de sistemas de lagoas de estabilização;
- Buscar na legislação pertinente os critérios estabelecidos para o lançamento do efluente tratado pelo sistema;
- Dimensionar uma lagoa anaeróbia seguida de duas lagoas facultativas para tratar o efluente de um laticínio de pequeno porte que processe 15000 litros de leite/dia para produção de iogurte.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria de laticínios

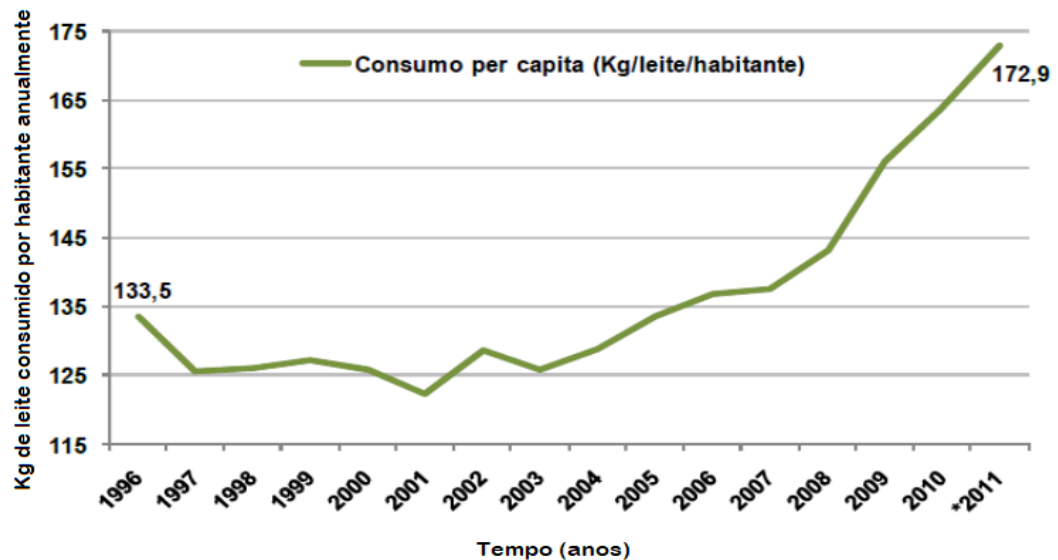
O ramo de laticínios e seus derivados, de acordo com a Deliberação Normativa - DN COPAM n°74/2004, encontra-se na listagem D, que trata de atividades industriais/indústria alimentícia. Esta categoria é dividida em dois códigos: D-01-06-6 – Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios, e D-01-07-4 – Resfriamento de distribuição de leite em instalações industriais (FIEMG, [2014?]).

Uma indústria de beneficiamento de leite tem por objetivo pasteurizar ou esterilizar o produto. A partir da recepção do leite, é realizada a padronização, estoque e embalagem. Ambos são tratamentos térmicos. Porém, enquanto o processo de pasteurização, no qual a temperatura atinge em torno de 72,8 °C por aproximadamente 16 segundos, tem a finalidade de eliminar organismos patogênicos a partir da inativação de enzimas, abolindo assim doenças e aperfeiçoando as condições de estocagem e armazenamento; o processo de esterilização é um tratamento de maior intensidade, no qual a temperatura atinge 140° C por aproximadamente 6 segundos apenas (SHREVE E JUNIOR, 1997).

Em 2010, a produção mundial de leite chegou na casa de 600 mil toneladas. Os Estados Unidos ocuparam a primeira posição, sendo o maior produtor mundial, seguido da Índia, China, Rússia, Brasil, Alemanha, França, Nova Zelândia, Reino Unido e Turquia (NETO, 2014). Já em 2015, dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), apresentaram uma produção mundial de cerca de 656 mil toneladas de leite, sendo que 374 mil toneladas, ou seja, 57% desta quantidade, concentrou-se nos dez maiores países produtores citados anteriormente (ZOCCAL, 2017).

A indústria de laticínios no Brasil, iniciou-se a partir de 1929, ano em que a crise fez com que a produção local substituísse as importações (MAGANHA, 2006). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimam para 2026 uma população de 219 milhões de pessoas. Para atender a este mercado interno, considerando a mesma média de consumo dos últimos anos (FIG.1), a produção de leite necessária será 37 bilhões de litros (ZOCCAL, 2016).

Figura 1 – Consumo de leite no Brasil ao longo dos anos



Fonte: Adaptado de BRASIL, [2012?].

Dados do Ministério da Agricultura mostraram que existem aproximadamente 2 mil indústrias processadoras de leite registradas no Serviço de Fiscalização Federal (SIF). Porém, as empresas que recebem fiscalização estadual e municipal não estão incluídas neste número (ZOCCAL, 2016). Na TAB.1 apresenta-se a classificação dos principais laticínios no Brasil levando-se em conta a quantidade de litros processados.

Tabela 1 – Principais laticínios no Brasil em 2015 de acordo com o volume de leite processado

Posição	Empresas/Marcas	Volume (kL)
1º	Nestlé	1.768.000
2º	Lactalis do Brasil/Elebat	1.592.103
3º	CCPR/Itambé	1.168.000
4º	Laticínios Bela Vista	1.057.957
5º	Cooperativas Frísia, Castrolanda e Capal*	870.833
6º	Embaré	589.642
7º	Aurora	481.000
8º	Vigor	409.998
9º	Danone	401.599
10º	Jussara	367.397

Nota: *As três cooperativas praticam um modelo de intercooperação no segmento de lácteos.

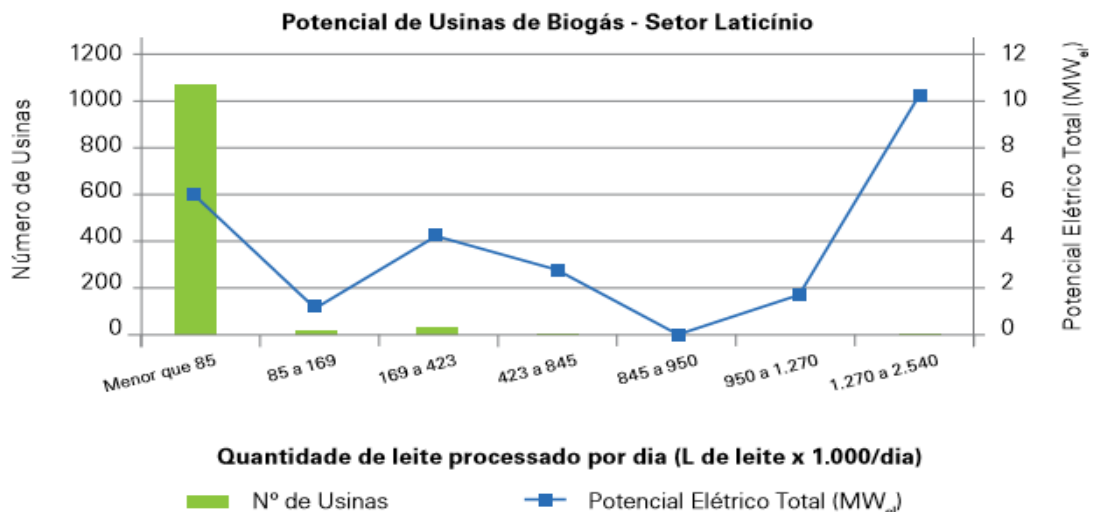
Fonte: Adaptado de PILA, 2016.

No ranking nacional, desde de 2014, a região Sul é a maior produtora de leite. No ano de 2015 sua produção correspondeu a 35,2% de toda a produção nacional. A segunda maior produtora é a região Sudeste, ultrapassada pela primeira vez pela região Sul. Sua produção foi

correspondente a 34,0% da produção nacional total. Os mineiros detêm o título de principal produtor de leite do país. Em Minas Gerais são produzidos 9,14 bilhões de litros, o que corresponde a 76,8% de toda a produção do Sudeste e cerca de 26,1% da produção nacional (BRASIL, 2015a).

Além de ser o maior produtor de leite, o estado de Minas Gerais possui as empresas de laticínio que oferecem melhores condições para a implantação de usinas de biogás de volume reduzido. O setor de laticínios está entre os segmentos mais importantes da agroindústria mineira que produzem resíduos e efluentes com alto potencial de produção de biogás (MINAS GERAIS, [2015]). Observa-se na FIG.2 o potencial das usinas de biogás do setor de laticínios.

Figura 2 - Potencial de geração de biogás de laticínios



Fonte: MINAS GERAIS, [2015].

Com relação à capacidade de produção, cerca de 55% dos laticínios do Brasil apresentam valores inferiores a 10.000 litros de leite/dia, enquanto apenas 5,5% apresenta valores superiores a 100.000 litros/dia. Destes, 28,8% estão localizados em Minas Gerais e 20,2% em São Paulo (NEVES et al, 2005 apud DANIEL, 2008)².

No Brasil, tratando-se do setor privado, as seções de industrialização, produção e transporte respondem pela maior quantia de funcionários (BRASIL, [2012?]). O setor abriga aproximadamente 4 milhões de trabalhadores (ZOCCAL, 2016).

² NEVES, M. F. et al. **Mapeamento do Sistema Agroindustrial do leite:** projeto Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo Câmara Setorial de Leite e Derivados.2005.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), classifica o leite como o produto proveniente de ordenha concluída sem interrupção, em perfeito estado de limpeza, de vacas saudáveis, relaxadas e bem sustentadas. Quando o leite é proveniente de outros animais, a classificação será de acordo com a espécie de origem (MORAES, [20--]). Já um leite de qualidade, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Leite Longa Vida (ABLV), deve manter seus aspectos nutritivos e sua constituição original assegurados no decorrer do processo produtivo (ABLV, 2015). A composição geral do leite pode é apresentada na TAB.2.

Tabela 2 - Composição média do leite de vaca no Brasil

Componentes	Percentual (em massa)
Água	87,8
Lactose	4,6
Gordura	3,5
Proteínas	3,2
Sais minerais	0,9

Fonte: ABLV, 2015.

Quanto à destinação do leite produzido no Brasil, a maior parte é utilizada na produção de queijos (33,7%), seguido por leite longa vida (18,8%), leite em pó (14,4%), leite in natura (11,3%), leite pasteurizado (7,5%) e outras destinações (14,39%) (NEVES et al, 2005 apud DANIEL, 2008).

3.2 Geração de resíduos e efluentes em indústrias de laticínios

Estabilizar a relação meio ambiente e o processo produtivo é abrir portas à chance de negócios que elevem a competitividade das empresas, eliminando desperdícios e garantindo a expansão a partir da utilização de recursos naturais. Desta forma, há uma preocupação crescente quanto à redução dos despejos de resíduos industriais no ambiente e ao uso racional de água, energia e materiais (TRINDADE, 2002 apud ALESSI, 2005)³.

Os resíduos industriais podem se apresentar na forma líquida, conhecida como efluente industrial ou água residuária; na forma sólida, também chamada de resíduo sólido industrial ou como emissões atmosféricas. Toda a água utilizada pela indústria durante seu processo produtivo e depois dele, seja na lavagem de equipamentos, nos refeitórios, nos banheiros ou na

³ TRINDADE, M. C. **Estudo da Recuperação de Ácido Lático Proveniente do Soro do Queijo Pela Técnica de Membranas Líquidas Sulfatantes**. Belo Horizonte, 2002.

higienização dos funcionários torna-se contaminada pelo processo industrial gerando o efluente líquido (SCHOENINGER, 2005).

De acordo com a Resolução do Conama nº 313/2002, resíduo sólido industrial é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólidos, gasoso, quando contido, e líquido, em que as particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis diante de uma melhor tecnologia disponível. Estão incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. (IBRAHIM, Francine; IBRAHIN, Fábio; CANTUÁRIA, 2015, p.99).

Em indústrias de laticínio, o processo de beneficiamento do leite consome altas quantidades de água, fazendo com que este setor seja um dos maiores geradores de efluentes com potencial poluidor (POKRYWIECKI et al., 2013). Observa-se na TAB.3 alguns valores da geração desses efluentes em diferentes linhas de produção.

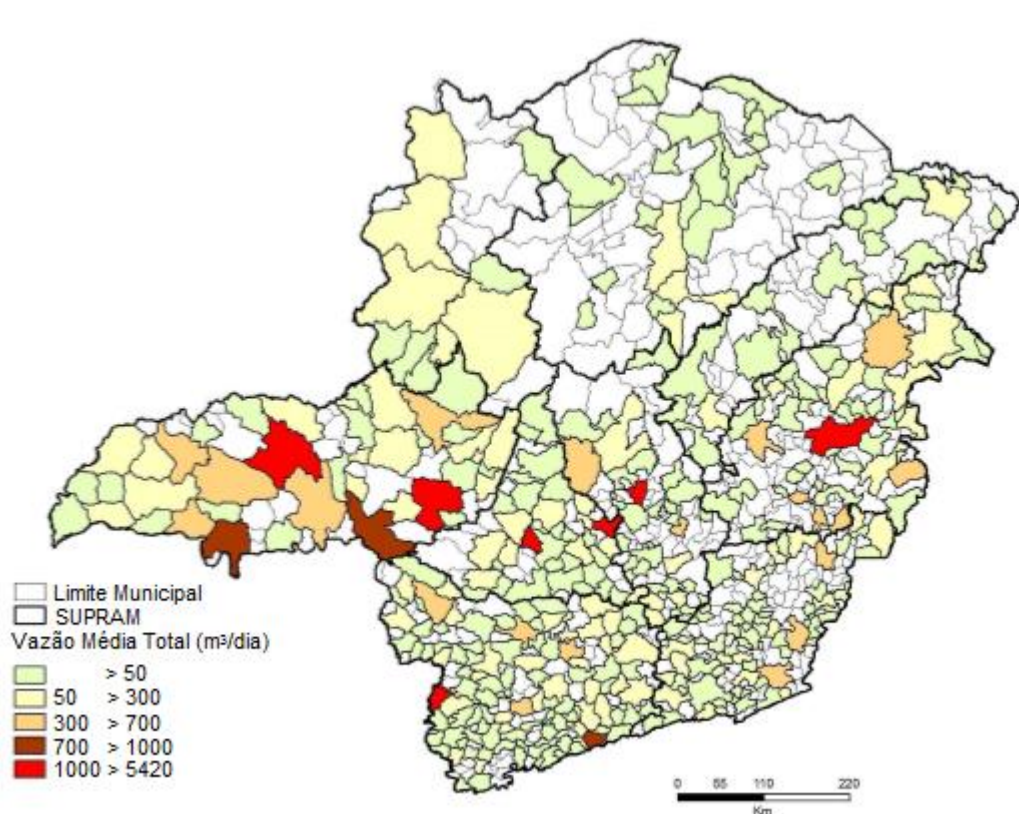
Tabela 3 – Estimativa de volume de efluentes gerados

Tipo de produto	Volume de efluentes líquidos (litro/kg de leite processado)
Produtos “brancos” (leite, cremes e iogurtes)	3
Produtos “amarelos” (manteiga e queijos)	4
Produtos “especiais” (concentrados de leite ou soro e produtos lácteos desidratados)	5

Fonte: MAGANHA, 2008.

Na pesquisa realizada pela FEAM, publicada em 2011, no contexto do plano de ação para adequação ambiental das indústrias de recepção e preparação de leite e fabricação de produtos de laticínios no estado de Minas Gerais, é possível obter alguns dados com relação as vazões dos efluentes gerados pelo setor. A pesquisa apresenta resultados referentes aos anos de 2006 a 2008, de 31 empreendimentos. Deste total 27 pertenciam ao código D-01-06-6 e os outros 4 pertenciam ao código D-01-07-4 definidos anteriormente (MINAS GERAIS, 2011). Na FIG.3 observa-se a distribuição das vazões por municípios no estado.

Figura 3 - Distribuição da vazão gerada de efluentes líquidos



Fonte: Adaptado de MINAS GERAIS, 2011.

Com os resultados da geração de efluentes e sua distribuição por municípios, foi possível calcular as vazões específicas e a possibilidade de geração de efluente líquido. Para laticínios, o estudo apresentou vazões específicas de efluente líquido entre 0,51 a 4,15 m³/m³ de leite, valores que levaram a uma estimativa de vazão de efluente líquido gerado entre 0,26 a 7,44 milhões m³/ano. Para os postos de resfriamento, os valores de vazão específica de efluente líquido variaram de 0,15 a 3,30 m³/m³ de leite, que levaram a uma estimativa de vazão de efluente líquido gerado entre 0,02 a 0,28 milhões m³/ano (MINAS GERAIS, 2011).

Diversas etapas do processo produtivo de laticínio recebem o abastecimento contínuo de água e leite. Portanto, a geração de líquidos residuais torna-se também contínua. Portanto, faz-se necessário um controle de qualidade do processo de produção para evitar perdas, minimizando assim a geração de efluentes e possíveis danos ao meio ambiente. A geração de líquidos residuais origina-se das etapas do processo de produção, como condensação do leite, pasteurização, desnatamento, coagulação, produção de bebidas lácteas, bem como da água de resfriamento, dentre outras atividades como a limpeza, que carrega contaminantes de soluções, detergentes e componentes orgânicos. Após o tratamento, os líquidos residuais não reutilizáveis têm sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO) avaliada e, quando atendem os critérios

ambientais, são lançados em corpo receptor. A DBO é um parâmetro importante a ser verificado uma vez que o leite, ainda que em quantidades baixas, é decomposto por grande quantidade de oxigênio (BARBOSA E IBRAHIN, 2014). Este parâmetro é utilizado para analisar a carga orgânica presente nos efluentes líquidos da indústria de laticínio, sendo um indicador da concentração de matéria orgânica biodegradável que constitui o efluente. A caracterização dos efluentes pode variar bastante de acordo com cada segmento de industrialização do leite. Na TAB.4 são apresentados dados da DBO de efluentes provenientes de vários segmentos de industrialização do leite (FIEMG, [2014?]).

Tabela 4 – Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes unidades industriais de laticínios

Unidade industrial	[DBO] (mg/L)	Carga específica de DBO (kgDBO/m³ leite processado)	Equivalente populacional (equivalente hab/L leite processado)
Posto de recepção e resfriamento de leite	600 – 1200	1,2	24
Empacotamento de leite e manteiga	800 – 1600	3,0	60
Queijaria	3.000 – 6.000	18,0	368
Iogurte	1.500 – 3.500	5,0	100
Torre de secagem de leite	600 – 1.200	1,3	27

Nota: O equivalente populacional, relaciona-se a proporcionalidade entre a quantidade de habitantes gerando esgoto doméstico, a cada litro de leite processado nas unidades industriais.

Fonte: FIEMG, [2014?].

Além dos líquidos residuais, a indústria de laticínios produz outros poluentes como resíduos sólidos e emissões atmosféricas. Os resíduos sólidos podem ser divididos em duas fontes: a primeira trata-se de papéis, plásticos e embalagens utilizadas nos escritórios, refeitórios ou instalações sanitárias da indústria; a segunda diz respeito aos equipamentos de proteção individual, uniformes dos funcionários, descarte de embalagens defeituosas, descarte de meios de cultura, óleos lubrificantes, entre outros. As emissões atmosféricas se dão pela queima de combustível para aquecimento das caldeiras no processo produtivo. Os contaminantes podem ser: monóxido de carbono (CO), materiais particulados (MP), óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃) e de nitrogênio (NO e NO₂) (FIEMG, [2014?]).

3.3 Impactos ambientais gerados pelo efluente de laticínios

Pereira e Toccheto⁴ (2005 apud SILVA, 2011a) afirmam que as indústrias do passado se preocupavam somente com a obtenção de lucro. Iniciativas para um desenvolvimento sustentável eram irrelevantes e tal irrelevância foi a causa de danos irreversíveis ao ambiente.

Foi no princípio deste milênio que a legislação ambiental brasileira seguiu uma tendência atual, identificada já na década anterior, quanto à defesa de seus recursos naturais (CAVALCANTI, 2012). Graças ao aperfeiçoamento da legislação, tornou-se possível um monitoramento dos processos industriais, o que tornou a gestão de empresas mais eficaz e resultou no decréscimo do impacto ambiental (TOCCHETO E PEREIRA, 2005a apud SILVA, 2011a).

Impacto ambiental pode ser entendido como toda alteração das características químicas, físicas e biológicas do ambiente, motivada por ações humanas, que podem prejudicar a segurança, a saúde e a integridade dos recursos naturais (IBRAHIM, Francine; IBRAHIN, Fábio; CANTUÁRIA, 2015).

Segundo Maganha (2006), pode-se relacionar os impactos ambientais do setor de laticínios ao elevado gasto de energia e água; geração e gerenciamento de resíduos; geração de efluentes com alta concentração de orgânicos; ruído e vibração provenientes de máquinas e equipamentos; e emissões atmosféricas. O despejo de efluentes industriais constitui o maior impacto ambiental do setor, não somente pela qualidade, mas também pela quantidade, pois a cada 1 litro de leite processado, 6 litros de efluente são gerados.

A ausência de tratamento dos efluentes pode gerar diversos impactos nos corpos receptores, que incluem a alteração do pH, resultante da fermentação e da presença de detergentes a base de hipoclorito; o aumento da turbidez da água, devido à presença de sólidos em suspensão; o aumento da matéria orgânica, que pode promover uma situação de anaerobiose pelo fato de favorecer o desenvolvimento de microrganismos consumidores de oxigênio; e até mesmo consequências mais graves, como a eutrofização, causada pela proliferação excessiva de algas devido à presença de nitrogênio e fósforo (POKRYWIECKI et al., 2013). Contaminando não apenas a água, mas comprometendo também a vida presente nos mesmos, esses efluentes exercem influência nas atividades humanas, podendo provocar doenças como

⁴ PEREIRA, L. C.; TOCCHETO, M. R. L. **Sistema de Gestão e Proteção Ambiental**, 2005.

TOCCHETO, M. R. L.; PEREIRA, L. C. **Desempenho Ambiental e Sustentabilidade**, 2005a.

rinites alérgicas, tumores hepáticos e de tireoide, dermatoses e alterações neurológicas, provocadas pela contaminação por metais pesados (TERA, 2013a, 2013b).

Quando as indústrias conferem ao soro do leite a mesma destinação dos demais efluentes, como é o caso de muitas, tal fato é um agravante, pois o soro chega a ser cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico (HENARES, 2015). Cada tonelada não tratada de soro de leite descartada diariamente no sistema de tratamento de esgoto corresponde à poluição aproximada de 470 pessoas por dia (COSTA et al., 2014). Por apresentar alta carga orgânica devido ao elevado teor de lipídio, este efluente pode causar grandes danos ao ambiente, pois ocasiona a formação de filmes de óleo na superfície da água, impedindo a difusão de oxigênio do ar e resultando na mortandade da vida aquática presente nesse meio (RODRIGUES E MARINHO, 2012 apud ALMEIDA E GROSSI, 2014)⁵.

O soro pode ser utilizado em diversos setores industriais, por exemplo, na fabricação de lácteos, panificação, carnes, chocolates, dentre outras. Entretanto, nos Estados Unidos e Europa, somente 50% do soro produzido é aplicado na fabricação de produtos, sendo tratada como despejo a parte remanescente (MINAS AMBIENTE/CETEC, 1998a apud BARBOSA et al., 2009)⁶.

Além do soro, existe também um subproduto da fabricação de manteiga conhecido como leitelho, que é outro problema nos efluentes da indústria de laticínio. Esse subproduto possui composição similar ao soro, apesar de ser produzido em volumes bem inferiores e, portanto, também é um potencial poluidor (MISTRY et al., 1996 e MINAS AMBIENTE/CETEC, 1998b apud BARBOSA et al., 2009)⁷.

O potencial poluidor dos efluentes dos segmentos de laticínio pode ser classificado em pequeno, médio e grande. A classificação é feita avaliando-se os impactos decorrentes da atividade industrial nas variáveis ambientais água, ar e solo. A partir da combinação dos potenciais das variáveis, é possível obter o potencial poluidor geral da atividade (FIEMG, [2014?]). No QUADRO 1 são apresentados os dados relacionados aos valores de potencial poluidor delimitados pela DN COPAM 74/2004.

⁵ RODRIGUES, Kelly; MARINHO, Glória. **Fungos e Águas residuárias industriais: Nova Tecnologia**. Recife: Imprima, 2012. 200 p.

⁶ MINAS AMBIENTE/CETEC. **Pesquisa tecnológica para controle ambiental em pequenos e médios laticínios de Minas Gerais: estado da arte**. Belo Horizonte: Minas Ambiente/CETEC, 1998 a. 112 p.

⁷ MISTRY, V. V.; METZGER, L. E.; MAUBOIS, J. L. **Use of ultrafiltered sweet buttermilk in the manufacture of reduced fat Cheddar cheese**. Journal of Dairy Science, v. 79, p. 1137-1145, 1996.

MINAS AMBIENTE/CETEC. **Pesquisa tecnológica para controle ambiental em pequenos e médios laticínios de Minas Gerais: estado da arte**. Belo Horizonte: Minas Ambiente/CETEC, 1998 b. Diagnóstico: Síntese.

Quadro 1 – Relação entre tipo de atividade, potencial poluidor e porte do empreendimento

Tipo de atividade	Potencial poluidor
Preparação do leite e fabricação dos laticínios	Médio
Resfriamento e distribuição do leite em instalações industriais	Pequeno

Fonte: FIEMG [2014?].

3.4 Tipos de tratamento de efluentes em indústria de laticínios

O tratamento do efluente gerado em indústria de laticínio pode ser dividido em físico, químico e biológico. O tratamento físico é constituído de operações unitárias caracterizadas por separação de fases, não sendo exatamente um método de depuração. Entretanto, ele viabiliza a depuração do efluente por processos biológicos nas fases posteriores. Dentre as principais operações do tratamento físico encontram-se: gradeamento, peneiramento, sedimentação, flotação, filtração, adsorção e aeração. Por sua vez, o tratamento químico possibilita a modificação da estrutura de compostos orgânicos, tornando possível sua degradação biológica, além de remover também sólidos em suspensão. As principais formas de tratamento químico são: precipitação química, acerto de pH, troca iônica e oxirredução (CAVALCANTI, 2012).

O tratamento biológico é usado para depuração, reduzindo a matéria orgânica biodegradável presente no efluente, sendo o mais indicado para os efluentes de laticínios (BRAILE & CAVALCANTI, 1993 apud HENARES, 2015)⁸. A autodepuração é um processo natural que ocorre nos corpos d'água após receberem despejos industriais. É realizada exclusivamente por processos biológicos que convertem a matéria orgânica em materiais mineralizados inativos por meio da oxidação, e por processos de síntese nas células dos microrganismos (SPERLING, 1996a). São divididos em duas classes: aeróbio e anaeróbio. No processo aeróbio, utiliza-se de lodos ativados, lagoas aeradas, lagos de estabilização e filtros biológicos. No processo anaeróbio, são utilizadas lagoas anaeróbias e reatores anaeróbios de fluxo ascendente (CAVALCANTI, 2012).

Na concepção de um sistema de tratamento de efluentes líquidos, o objetivo e o nível do tratamento, assim como os estudos de impacto ambiental no corpo receptor, devem ser bem especificados (SPERLING, 1996a). Com relação aos níveis de tratamento, de efluente de indústria de laticínio, pode-se considerar quatro etapas principais: tratamento preliminar,

⁸ BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo: Cetesb, 1993, 764 p.

tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (GOMES, 2006). No QUADRO 2 estão resumidas as principais diferenças entre os níveis de tratamento de efluentes.

Quadro 2 – Níveis de tratamento de efluentes

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia).
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis; DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis).
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário); DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos).
Terciário	Nutrientes (fósforo e nitrogênio); patógenos; compostos não biodegradáveis; metais pesados; sólidos inorgânicos dissolvidos; sólidos remanescentes em suspensão.

Fonte: SPERLING (1996a).

3.4.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar, é a primeira operação unitária do tratamento de efluentes. Nesta etapa, utilizam-se geralmente, grades, peneiras e caixa de areia para a remoção dos sólidos grosseiros presentes no efluente (CAVALCANTI, 2012).

3.4.2 Tratamento primário

O tratamento preliminar é seguido pelo tratamento primário, no qual o óleo é separado por meio de caixas de gordura, decantadores, filtros e flotores. Da mesma forma que a separação dos sólidos grosseiros, esta etapa é de fundamental importância para prosseguir com o tratamento (CAVALCANTI, 2012).

3.4.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário relaciona-se aos processos de tratamento biológicos dos efluentes, que podem ser tanto aeróbios como anaeróbios. Seu objetivo é a conversão de matéria orgânica biodegradável em sólidos inorgânicos, como, por exemplo, sulfatos e hidróxidos; gases e material biológico sedimentável (CAMMAROTA, 2011).

No tratamento aeróbio são utilizados filtros biológicos, biodiscos, lagoas aeróbias aeradas e lagoas aeróbias facultativas. Nestes processos, a aeração é essencial, pois o oxigênio possui baixa solubilidade em água. Por isso, para suprir o oxigênio consumido pelas bactérias, às vezes é necessário alimentar oxigênio ao processo (SPERLING, 1996b).

O tratamento anaeróbio tem como vantagens o baixo consumo energético, por não necessitar de aeração, a menor produção de sólidos, menores custos com implantação, além da produção de biogás, que pode ser utilizado como fonte geradora de energia (DEMIREL et al., 2005; MENDES et al., 2006 apud ANDRADE, 2011)⁹. Na indústria de laticínios, os tratamentos anaeróbios mais utilizados são realizados nos reatores RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), os filtros anaeróbios e as lagoas anaeróbias.

3.4.4 Tratamento terciário

O tratamento terciário consiste em um tratamento mais avançado do efluente. Sendo utilizado quando se deseja alcançar remoções adicionais de poluentes específicos nas águas residuais antes do despejo em corpo receptor, ou quando se trata de um sistema fechado e há necessidade de recirculação da água residuária (CARVALHO E SILVA, [200-]). Como tratamento terciário, pode-se citar o tratamento por membranas pelos processos de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (OR) e biorreatores com membranas (BRM) (CAVALCANTI, 2012). A adsorção é também uma tecnologia utilizada como tratamento terciário (BARROS, 2012). Outra modalidade de tratamento terciário que vem sendo utilizada são os sistemas de lodos ativados, amplamente empregados quando há necessidade de elevada qualidade dos efluentes e se dispõe de áreas reduzidas (SPERLING, 2002). O princípio do tratamento por lodos ativados é a remoção da

⁹ DEMIREL, B.; YENIGUN, O.; ONAY, T.T. **Anaerobic treatment of dairy wastewater:** a review. *Process Biochemistry*, v.40, p.2583-2595, 2005.

MENDES, A. A; PEREIRA, E. B; CASTRO, H. F. **Effect of the enzymatic hydrolysis pretreatment of lipid-rich wastewater on the anaerobic biodigestion.** *Biochemical Engineering Journal*, v.32. p.185-190, 2006.

matéria orgânica por microrganismos aeróbios que, em meio líquido, utilizam-se dessa matéria para se reproduzir e alimentar, transformando-a em CO₂, água e novas bactérias (HENARES, 2015). Por se tratar de um processo de tratamento flexível, possui diversas variantes, empregadas de acordo com a necessidade de cada indústria e a qualidade desejada para o efluente tratado (CAVALCANTI, 2012).

3.5 Tratamento secundário por sistema de lagoas

Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico que oferecem condições favoráveis a autodepuração. Nessas lagoas ocorrem os processos de estabilização de matéria orgânica por meios aeróbios e anaeróbios. Elas são classificadas segundo a forma de estabilização da matéria orgânica, podendo ser anaeróbias, facultativas, aeróbias, de polimento, maturação ou aeradas; naturais ou artificiais (JORDÃO E PESSÔA, 1995).

Nas lagoas aeróbias aeradas, além de suprir o oxigênio consumido pelas bactérias como mencionado anteriormente, a aeração é utilizada para que toda a biomassa se distribua igualmente pela massa líquida, evitando a sedimentação de lodo. Essa aeração é realizada por agitação mecânica e tem sido amplamente utilizada no tratamento de efluentes de indústrias alimentícias, refinarias de petróleo, indústrias de celulose e papel, e agroindústrias (SANT'ANNA JÚNIOR, 2013).

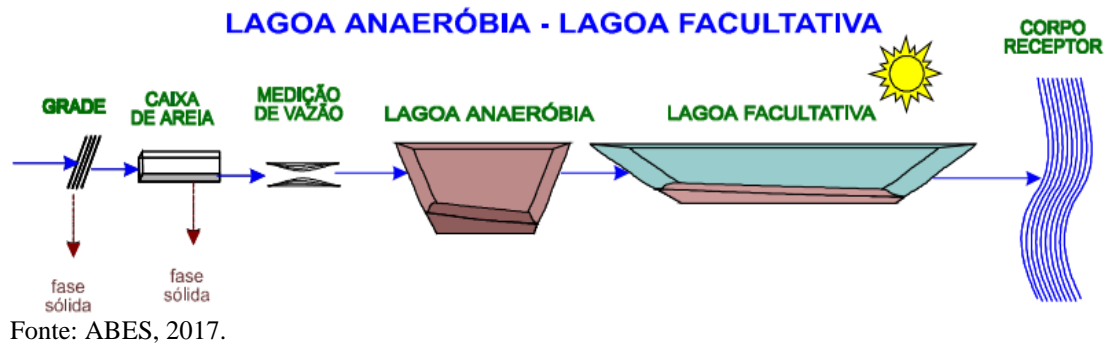
Lagoas aeradas facultativas são mais profundas que as aeróbias aeradas. Elas possuem uma fase anaeróbia, localizada no fundo, constituída pelo material sedimentado, e uma fase aeróbia, localizada próxima à superfície. Nesta camada, o oxigênio dissolvido oxida a quantidade de gás sulfídrico produzido na fase anaeróbia, eliminando as chances de liberação de maus odores (JORDÃO E PESSÔA, 1995).

As lagoas anaeróbias são usadas tanto em tratamento de esgoto doméstico como efluentes industriais orgânicos, como é o caso dos laticínios. Por terem a função de diminuir a possibilidade de penetração do oxigênio da superfície, estas lagoas são geralmente profundas. (MOREIRA; DOURADO; SANTOS, 2007). Na ausência do oxigênio, bactérias acidogênicas irão degradar os lipídios, proteínas e carboidratos, convertendo-os em ácidos voláteis. Em seguida, bactérias metanogênicas irão transformar boa parte desses ácidos em gases, principalmente o metano e o dióxido de carbono (GAUTO E ROSA, 2011).

É possível realizar combinações entre lagoas, utilizando-as em conjunto. Um exemplo é o sistema australiano (FIG.4), composto de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. As lagoas anaeróbias, possuem capacidade de remoção de DBO em torno de 50 a 60%. Como

a DBO do efluente é mais alta, há necessidade de tratamento posterior. Neste caso, utiliza-se a lagoa facultativa (FIEMG, [2014?]).

Figura 4 - Sistema australiano



Estudos demonstraram a eficiência no tratamento de efluentes realizado a partir da combinação de lagoas de estabilização (POKRZWIECKI, T.S. et al., 2013; ALMEIDA E GROSSI, 2014; HENARES, 2015).

3.5.1 Dimensionamento de lagoas anaeróbias e facultativas

3.5.1.1 Lagoas anaeróbias

Para efetuar o dimensionamento de lagoas, Sperling (1996c), considera que alguns critérios devem ser levados em conta no projeto:

a) Taxa de aplicação volumétrica, L_v (kgDBO/m³.dia): regida em função da temperatura, é estabelecida pela necessidade de determinado volume da lagoa para estabilização da carga de DBO aplicada. Ou seja, uma relação entre a massa de DBO aplicada por dia e o volume útil da lagoa. Carga volumétrica é o produto obtido a partir da concentração de DBO e da vazão (equação 1). A importância de se considerar esta variável dá-se pelo fato de que despejos industriais estão sujeitos a variações na relação vazão/concentração de DBO.

$$\text{carga} = \text{concentração} \times \text{vazão} \quad (1)$$

Neste caso, considerar apenas o tempo de detenção não seria suficiente. A relação entre as taxas de aplicação volumétrica admissíveis para projeto de lagoas anaeróbias e a temperatura são apresentadas na TAB.5.

Tabela 5 - Relação entre taxa de aplicação volumétrica em função da temperatura

Temperatura média do ar no mês mais frio - T (°C)	Taxa de aplicação volumétrica admissível - L_v (kgDBO/m ³ .dia)
10 a 20	$0,02 T - 0,10$
20 a 25	$0,01 T + 0,10$
> 25	0,35

Fonte: SPERLING, (1996c).

A partir dos valores de taxa de aplicação volumétrica, o volume desejado, V (m³), será determinado pela equação 2:

$$V = \frac{L}{L_v} \quad (2)$$

Onde: L = carga de DBO total afluyente (solúvel + particulada) (kgDBO₅/d)

L_v = taxa de aplicação volumétrica (kgDBO₅/m³.d)

b) Tempo de detenção, t (dias): $t = 3,0$ d a $6,0$ d

$$t = \frac{V}{Q} \quad (3)$$

Onde: V = volume da lagoa (m³)

Q = vazão média afluyente (m³/d)

Como não existe uma vazão real para utilizar seu valor, Silva (2011b), propõe uma forma de se estimar a vazão de efluente líquido, efetuando o cálculo da vazão diária a partir dos valores de efluente líquido gerado e de leite recebido, pelo coeficiente de volume de efluente líquido (m³/d), através da equação 4:

$$\text{coeficiente de volume de efluente líquido} = \frac{\text{volume de efluente líquido gerado}}{\text{volume de leite recebido}} \quad (4)$$

c) Profundidade, H (m): com a finalidade de assegurar as condições anaeróbias, as lagoas tendem a ser mais profundas. A profundidade das lagoas, varia de 3,5 a 5 m.

d) Geometria (relação comprimento/largura) (L/B): pode variar entre quadrada e retangular. A razão entre comprimento varia de 1 a 3.

Sperling (1996c), salienta ainda que, por não existirem ainda modelos matemáticos que possibilitem estimar, generalizadamente, a concentração de DBO efluente em lagoas

anaeróbias, a eficiência de remoção de DBO pode ser estimada em função da temperatura como apresentado na TAB.6.

Tabela 6 - Eficiência de remoção de DBO em função da temperatura

Temperatura do ar no mês mais frio - T (°C)	Eficiência na remoção de DBO - E (%)
10 a 25	$2T + 20$
> 25	70

Fonte: SPERLING, (1996c).

A partir da eficiência de remoção, é possível calcular a concentração afluyente da lagoa, DBO_{efl} (mg/L), pelas equações:

$$E = \frac{(S_o - DBO_{efl})}{S_o} * 100 \quad (5)$$

$$DBO_{efl} = S_o \left(1 - \frac{E}{100} \right) \quad (6)$$

Onde: S_o = concentração de DBO total afluyente (mg/L)

E = eficiência de remoção (%)

Para Sperling (1996c), os valores da taxa de acúmulo de lodo são expressos em termos de quantidade de habitantes por ano, obtidos através do equivalente populacional, e estão entre 0,03 a 0,10 m³/hab.ano (em regiões quentes, utiliza-se o limite inferior). A limpeza das lagoas anaeróbias pode ser realizada quando a camada de lodo estiver próxima de um terço da altura útil ou pode ser realizada anualmente, de acordo com a estratégia de operação da lagoa.

3.5.1.2 Lagoas facultativas

Para o dimensionamento de lagoas facultativas, levam-se em consideração alguns critérios de projeto (SPERLING, 1996c). São eles:

a) Taxa de aplicação superficial, L_s (kg DBO₅/ha.d) : é baseada na necessidade de se ter certa área de exposição à luz solar para que a fotossíntese ocorra na lagoa, viabilizando a produção de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica. É uma relação entre a vazão diária e a área da lagoa.

Os valores de L_s variam de acordo com as condições climáticas do local, seguindo os critérios:

- Regiões com inverno quente e elevada insolação: $L_s = 240$ a 350 kg DBO₅/ha.d
- Regiões com inverno e insolação moderados: $L_s = 120$ a 240 kg DBO₅/ha.d

- Regiões com inverno frio e baixa insolação: $L_s = 100$ a 180 kg DBO₅/ha.d

A taxa de aplicação volumétrica, influencia diretamente a área da lagoa. O valor para a área é obtido pela equação 7:

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (7)$$

Onde: A = área requerida para a lagoa (ha)

L = carga de DBO total (solúvel + particulada) no afluente (kgDBO₅/d)

L_s = taxa de aplicação superficial (kgDBO₅/ha.d)

Algumas equações levam em conta a influência da temperatura na taxa de aplicação superficial (SPERLING, 1996c). Um exemplo é a equação 8:

$$L_s = 350 \cdot (1,107 - 0,002 \cdot T)^{(T-25)} \quad (8)$$

Onde: T = temperatura média do ar no mês mais frio (°C).

Como essa equação utiliza a temperatura média do ar no mês mais frio, no qual a velocidade das reações é mais lenta, consegue-se estimar a área com segurança, já que a temperatura média será mais elevada. Mesmo que se obtenha valores altos, é recomendado que, para efeito de projeto, utilize-se a carga máxima de 350 kgDBO/ha.d.

b) Profundidade, H (m): é a relação entre o volume, V (m³), e a área, A (m²), requeridos:

$$H = \frac{V}{A} \quad (9)$$

A faixa de profundidade mais usual encontra-se entre 1,5 e 2,0 m.

c) Tempo de detenção, t (dias): $t = 15$ a 45 d, razão entre volume e vazão volumétrica,

$$t = \frac{V}{Q}$$

Onde: V = volume da lagoa (m³)

Q = vazão média afluente (m³/d)

Segundo Sperling (1996c), a média obtida entre a vazão afluente (Q_{af}) e a vazão efluente (Q_{ef}), é a vazão média. A vazão efluente corresponde à vazão afluente menos as perdas (evaporação e infiltração), mais ganhos (precipitação), obtido pelas equações a seguir:

$$Q_{m\u00e9dia} = \frac{Q_{afl} - Q_{efl}}{2} \quad (10)$$

Na qual:

$$Q_{efl} = Q_{afl} + Q_{precipita\u00e7\u00e3o} - Q_{evapora\u00e7\u00e3o} - Q_{infiltra\u00e7\u00e3o} \quad (11)$$

Para obten\u00e7\u00e3o da carga afluyente, utiliza-se a equa\u00e7\u00e3o 12:

$$L = \frac{(100-E) * L_0}{100} \quad (12)$$

Onde: L = carga afluyente (kgDBO/d)

E = efici\u00eancia de remo\u00e7\u00e3o de DBO (%)

L_0 = carga afluyente de DBO da lagoa anaer\u00f3bia

Sperling (1996c) destaca ainda que o tempo de deten\u00e7\u00e3o \u00e9 bem maior quando se trata de \u00e1guas residu\u00e1rias altamente concentradas. No caso de efluentes industriais, o fator determinante \u00e9 a taxa de aplica\u00e7\u00e3o org\u00e2nica, utilizando os par\u00e2metros da taxa de aplica\u00e7\u00e3o superficial e do tempo de deten\u00e7\u00e3o como complementares. Neste caso, o tempo de deten\u00e7\u00e3o pode ser calculado de duas maneiras.

Na primeira, pode-se assumir que t \u00e9 um par\u00e2metro de projeto. A partir do valor de t , \u00e9 poss\u00edvel calcular o volume (V) pela equa\u00e7\u00e3o 13:

$$V = t.Q \quad (13)$$

Em seguida, o valor da \u00e1rea \u00e9 calculado por meio da equa\u00e7\u00e3o 8, possibilitando o c\u00e1lculo da profundidade pela equa\u00e7\u00e3o 10. Uma vez obtido o valor de H , verifica-se se o valor est\u00e1 dentro da faixa de profundidade habitual (1,5 a 2,0 m). Caso n\u00e3o esteja, deve-se estudar uma forma de adequ\u00e1-lo a partir dos valores de vaz\u00e3o, tempo de deten\u00e7\u00e3o e volume.

A segunda maneira, \u00e9 assumindo um valor para a profundidade H , de acordo com os crit\u00e9rios de profundidade. Possuindo H e A , \u00e9 poss\u00edvel calcular o volume (V) pela equa\u00e7\u00e3o 14:

$$V = A.H \quad (14)$$

Por conseguinte, calcula-se o tempo de detenção t pela equação 3. A partir do valor de t , torna-se possível realizar a estimativa da concentração de efluente de DBO. Caso o valor da concentração não satisfaça aos requisitos, torna-se necessário ampliar o volume e, por consequência, o tempo de detenção. Considera-se que a segunda maneira é mais prática uma vez que assume valores de profundidade e área superficial objetivos.

d) Geometria da lagoa (relação comprimento/largura): a relação L/B deve estar entre 2 e 4.

Sperling (1996c) admite que a remoção de DBO é representada por uma reação de primeira ordem, na qual a taxa de reação é diretamente proporcional à concentração do substrato. Portanto, a eficiência do sistema é influenciada pelo regime hidráulico da lagoa. Este regime pode seguir quatro modelos diferentes: fluxo em pistão, mistura completa, células em série ou fluxo disperso (FIG.5). Em se tratando de remoção de compostos que seguem a cinética de primeira ordem, como é o caso da matéria orgânica, considera-se o regime de fluxo em pistão mais apropriado.

Figura 5 - Modelos de regime hidráulico

Mod. Hidráulico	Esquema
Fluxo em pistão	
Mistura completa	
Mistura completa em série	
Fluxo disperso	

Fonte: UFSM, [19--?].

Ainda segundo Sperling (1996c) a determinação da concentração efluente de DBO solúvel, S (mg/L), para fluxo em pistão, pode ser obtida pela equação 15:

$$S = S_0 e^{-K.t} \quad (15)$$

Onde: S_0 = concentração de DBO total no afluente (mg/L)

S = concentração de DBO solúvel no efluente (mg/L)

K = coeficiente de remoção de DBO (d^{-1})

t = tempo de detenção total (d)

Para obter os valores de DBO no efluente (solúvel e particulada), admite-se que 1 mg SS (sólidos suspensos)/L equivale a 0,3 a 0,45mg DBO₅/L.

Sperling (1996c) salienta que não existem modelos matemáticos que possibilitem prever confiavelmente a concentração de sólidos em suspensão no efluente da lagoa devido à variação temporal das condições ambientais. Para fins de projeto, a DBO particulada SS varia entre 60 e 100 mg/L.

A DBO total L (kg DBO₅/d) é o resultado obtido pela soma da DBO solúvel e a DBO particulada e pode ser calculada pela equação 16:

$$\text{DBO total (L) (kg DBO}_5\text{/d)} = \text{DBO solúvel} + \text{DBO particulada} \quad (16)$$

Em se tratando de lagoas secundárias, as quais recebem efluente proveniente de uma lagoa ou de um reator, utiliza-se o coeficiente de remoção de DBO, K , avaliado a 20°C, que varia de 0,25 a 0,32 d⁻¹. Este coeficiente é utilizado na equação (16) para a determinação da concentração efluente de DBO solúvel. O valor de K pode ser corrigido em função da temperatura de acordo com a equação 17:

$$K_T = K_{20} * \theta^{(T-20)} \quad (17)$$

Onde:

K_T = coeficiente de remoção da DBO avaliado em uma temperatura qualquer (d⁻¹)

K_{20} = coeficiente de remoção da DBO na temperatura do líquido de 20°C (d⁻¹)

θ = coeficiente de temperatura (-)

Os valores da taxa de acúmulo em lagoas facultativas estão entre 0,03 a 0,08 m³/hab.ano.

3.6 Legislações pertinentes ao lançamento de efluentes da indústria de laticínios

A legislação iniciou a abordagem de assuntos ambientais na década de 80, quando houve a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e a Constituição Federal do Brasil destinou artigos ao meio ambiente e aos recursos hídricos (CAVALCANTI, 2012).

Em 1939, uma legislação estabelecida pelo estado de São Paulo, obrigava a criação da classificação do leite em tipos A, B e C, e também a sua pasteurização. A partir de 1952, esta legislação alcançou extensão federal, passando a ser chamada de Regulamento de Inspeção

Industrial Sobre Produtos de Origem Animal (RIISPOA). O SIF foi criado em 1950 e relaciona-se a produção de leite e de seus derivados (MAGANHA, 2006).

A Resolução nº430 de 13 de maio de 2011, propõe as condições e padrões de lançamento de efluentes, além de complementar e alterar a Resolução nº357 de 17 de março de 2005 do CONAMA (CAVALCANTI, 2012). Entre seus demais artigos, destacam-se:

Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.

Art. 16º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

a) pH entre 5 e 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas:

1. óleos minerais: até 20 mg/L;

2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C):

Remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. (CAVALCANTI, 2012, p.181).

Na Resolução nº 430 não existem referências relacionadas ao valor máximo aceitável de DQO em efluentes para despejo nos corpos d'água (KISPERGHER, 2013).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) nº1, criada em 05 de maio de 2008, estabelece diretrizes ambientais para enquadrar e classificar os corpos d'água, além de estabelecer critérios e padrões de lançamento de efluentes (CARNEIRO, 2008). Estes padrões de lançamento de efluentes líquidos são obtidos a partir do estabelecimento de valores limitantes para as concentrações de alguns parâmetros como DBO, DQO e sólidos em suspensão. Estes valores podem ser observados na TAB.7.

Tabela 7 – Padrões para lançamento de efluentes líquidos- DN COPAM/CERH 01/2008

Parâmetro	Valor máximo e/ou percentual de redução
DBO	Tratamento com eficiência de redução de DBO em, no mínimo, 75% e média anual igual ou superior a 85%
DQO	180 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DQO em, no mínimo, 70% e média anual igual ou superior a 75%
Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno	2,0 mg/L
Sólidos em suspensão totais	100 mg/L, sendo 150 mg/L nos casos de lagoas de estabilização

Fonte: Adaptado de FIEMG [2014?].

As empresas que deixam de cumprir as normas, legislações e padrões estabelecidos na lei e nas resoluções podem sofrer consequências como danos à imagem de seus produtos, prejuízos financeiros, além de responder por crime ambiental. Quando uma empresa não está regularmente licenciada, ela não consegue nem mesmo obter financiamentos, pois as instituições financeiras também podem ser punidas caso o empreendimento financiado prejudique o meio ambiente. Em alguns estados o descarte inadequado de efluentes acarreta multas e pode resultar até mesmo na interrupção das atividades da empresa, culminando, em casos mais graves como o fechamento do empreendimento. Órgãos como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Ministério Público e, em casos extremos, Polícia Federal podem autuar e levar os responsáveis pelo empreendimento à prisão (TERA, 2017).

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido utilizando-se livros, teses acadêmicas e artigos científicos. Foi realizado o dimensionamento de uma lagoa anaeróbia seguida de duas lagoas facultativas como proposta para o tratamento dos efluentes gerados em uma indústria de laticínio de pequeno porte, produtora de iogurte, que processa 15000 litros de leite por dia.

Segundo a NTS 230 (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP, 2009), todo sistema de tratamento deve ser precedido de um pré-tratamento e medição de vazão. Este pré-tratamento é constituído pelo tratamento preliminar, utilizando gradeamento e remoção de areia. A medição da vazão pode ser realizada tanto antes quanto depois da remoção de areia.

Considerou-se para o cálculo da lagoa anaeróbia:

- Um laticínio que produz iogurte, com uma produção referente ao processamento de 15000 litros de leite/dia.
- O volume de efluente líquido gerado de 3 L/Kg de leite processado.
- A densidade do leite a 15 °C entre 1,028 e 1,033 kg/L (BRASIL, [20--]). Adotou-se o valor 1,033 kg/L.
- Os valores de DBO para produção de iogurte de 1500 - 3500 (mg/L). Adotou-se o valor 2500 (mg/L).
- O equivalente populacional de 100 equivalente hab/L leite processado.
- O valor adotado da taxa de aplicação volumétrica admissível: $L_v = 0,15$ kgDBO/m³.d.
- Para estimar a vazão, utilizou-se a equação (4).
- Para o cálculo da carga afluente de DBO, utilizou-se a equação (1).
- Para obtenção do volume da lagoa, utilizou-se a equação (2).
- Para o tempo de detenção, equação (3).
- Assumindo uma profundidade $H = 4,5$ m, calculou-se a área pela equação (9). Foi adotada uma relação $L/B = 2,8$.
- Para 20°C, a eficiência na remoção de DBO foi estimada por: $2T + 20$.
- A DBO efluente da lagoa foi obtida pela equação (6).
- A taxa de acúmulo de lodo foi de 0,03 m³/hab.ano.

Para alcançar uma performance melhor no tratamento, as lagoas devem estar, preferencialmente, instaladas em série (SABESP, 2009).

Para o cálculo da lagoa facultativa, (como o sistema constituiu-se de uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa, o efluente da lagoa anaeróbia será o afluente da lagoa facultativa):

- Para o cálculo da carga afluente da lagoa, utilizou-se a equação (12).
- A região com inverno e insolação moderados: $L_s = 120$ a 240 kg DBO₅/ha.d. Utilizou-se o valor de 150 kg DBO₅/ha.d.
- A área é obtida pela equação (7).
- A profundidade útil da lagoa facultativa encontra-se entre $1,5$ m e $2,0$ m. Sendo que, para lagoas subsequentes, com é o caso, este valor deve ser menor ou igual a $1,5$ m (SABESP, 2009). Adotou-se uma profundidade $H = 1,50$ m e relação $L/B = 2,5$.
- O volume sendo obtido pela equação (14).
- O tempo de detenção pela equação (3).
- Adotou-se o coeficiente de remoção $K = 0,28$ d⁻¹.
- Adotou-se um valor de coeficiente de temperatura $\theta = 1,05$.
- Considerando a temperatura do líquido 25°C , realizou-se a correção da temperatura pela equação (17).
- Utilizou-se o modelo de fluxo em pistão.
- Estimou-se a DBO solúvel efluente pela equação (15).
- Considerando uma concentração de SS efluente de 100 mg/L e a relação entre os valores de DBO efluente solúvel e particulada: 1 mgSS/L = $0,35$ mg DBO₅/L. Estimou-se a DBO particulada efluente pela multiplicação dos valores por $0,3$ mgDBO/mgSS e 100 (gDBO/L).
- Calculou-se a DBO total pela equação (16).

A eficiência total do sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa obtida pela equação (5).

A área total requerida de 25% a 33% maior que a área útil requerida. Adotou-se 33% (SPERLING, 1996c).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo efetuado os cálculos e determinado os valores para as dimensões das lagoas, os resultados do dimensionamento do sistema podem ser resumidos na TAB.8.

Tabela 8 - Resultados do dimensionamento das lagoas

Parâmetros de projeto	Lagoa anaeróbia	Lagoas facultativas
Comprimento (m)	6	16
Largura (m)	2	6,5
Altura (m)	4,5	1,5
Área (m ²)	12	104
Volume (m ³)	54	156
Tempo de detenção (d)	16,7	50
Carga de DBO afluente (KgDBO/d)	7,747	3,099
DBO efluente (mg/l)	1000	30

Fonte: A autora, 2017.

Encontra-se no APÊNDICE A a planta da lagoa anaeróbia, e no APÊNDICE B, a planta das lagoas facultativas.

Embora os resultados para área e volume das lagoas tenham sido relativamente baixos, a eficiência estimada do sistema se mostrou satisfatória, atendendo tanto a Resolução n°430 do CONAMA quanto a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N°1 no que se relaciona à remoção de DBO. Apesar dos tempos de detenção desejados para a lagoa anaeróbia e lagoa facultativa serem de 2 a 6, e de 15 a 45 dias, respectivamente, o fato de apresentar tempos maiores que os desejáveis não foi empecilho para alcançar a eficiência no tratamento realizado pelo sistema. Valores muito acima do estabelecido nos parâmetros de projeto podem inviabilizar o processo, influenciando na eficiência do tratamento. Entretanto, neste caso, não houve muita discrepância entre os valores. Caso fosse possível realizar um estudo de caso real, seria possível verificar se os valores estimados seriam exatos.

Por se tratar de um estudo teórico, não houve possibilidade de comparação com valores reais, devido ao desconhecimento de uma indústria que possua um sistema de tratamento de efluentes semelhante ao proposto nesse trabalho e operando sob as condições estudadas. Uma das dificuldades encontradas para a conclusão da viabilidade dos resultados obtidos foi exatamente a escassez de trabalhos cujos objetivos fossem semelhantes. Embora o tratamento

do esgoto doméstico seja um assunto bastante discutido, ainda há pouco material referente ao tratamento de efluentes industriais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando como base valores disponíveis na literatura, determinou-se o porte do empreendimento, a quantidade de leite processado e o laticínio a ser produzido, possibilitando caracterizar os efluentes por ele gerados. Com os valores dos parâmetros estabelecidos nos critérios de projeto, foi realizado o dimensionamento.

O sistema de tratamento de efluentes dimensionado para o laticínio estudado, composto de uma lagoa anaeróbia seguida de duas lagoas facultativas mostrou um bom desempenho, sendo a eficiência na remoção de DBO satisfatória. Para o caso de uma indústria de laticínio de pequeno porte, a utilização da lagoa anaeróbia gera uma economia na demanda de área construída para uma estação de tratamento.

Ainda que o estudo não tenha considerado todos os parâmetros existentes para efetuar os cálculos do dimensionamento das lagoas, pois existem outras inúmeras variáveis que poderiam ser relacionadas no processo de tratamento, foi possível observar a necessidade de se analisar as variáveis envolvidas no contexto do projeto para chegar ao melhor resultado possível. Uma vez que existem diferentes tipos de tratamento para efluentes com diferentes características, aos engenheiros, incumbe-se a responsabilidade de analisar e escolher o melhor tipo de sistema de tratamento para cada caso específico, garantindo que os resultados sejam eficazes e economicamente viáveis.

REFERÊNCIAS

- ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Curso tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, 2017.
- ABLV- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE LEITE LONGA VIDA. **O leite na plataforma**. [S.l.]. 2015. 60 p.
- ALESSI, M. C. M. **Avaliação da hidrólise alcalina da gordura sobre a biodegradação anaeróbia de soro de queijo**. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15216>>. Acesso em: 08 mar. 2017.
- ALMEIDA, E.J.M; GROSSI, L.J. **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio**. 2014. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química)-Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014. Disponível em: <http://www.unifal-mg.edu.br/engenhariaquimica/system/files/imce/TCC_2014_1/Edson%20e%20Lara.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2017.
- ANDRADE, L. H. de. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reúso**. 2011. 232 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Laura_Andrade4/publication/313820854_TRATAMENTO_DE_EFLUENTE_DE_INDUSTRIA_DE_LATICINIOS_POR_DUAS_CONFIGURACOES_DE_BIORREATOR_COM_MEMBRANAS_E_NANOFILTRACAO_VISANDO_O_REUSO/links/58a74365aca27206d9ac3c35/TRATAMENTO-DE-EFLUENTE-DE-INDUSTRIA-DE-LATICINIOS-POR-DUAS-CONFIGURACOES-DE-BIORREATOR-COM-MEMBRANAS-E-NANOFILTRACAO-VISANDO-O-REUSO.pdf>. Acesso em: 23 maio 2017.
- BARBOSA, C. S. et al. **Aspectos e impactos ambientais envolvidos em um laticínio de pequeno porte**. Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes. Juiz de Fora, v.64, n.366, p. 28-35, jan./fev. 2009. Disponível em: <<https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/72/78>>. Acesso em: 28 maio 2017.
- BARBOSA, R.P.; IBRAHIN, F.I.D. **Resíduos sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2014. 176 p.
- BARROS, A. M. de. **Bioadsorção e dessorção dos íons Cd⁺², Cu⁺², Ni⁺², Pb⁺² e Zn⁺² pela macrófita aquática *Azolla pinnata***. 2012. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266685>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária de Abastecimento. EMBRAPA. **Fortalecimento da cadeia produtiva do leite**. Juiz de Fora, MG, [2012?]. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjFipfcqnUAhWphFQKHWI9BkMQFggnMAE&url=http%3A%2F%2Fw>>

ww19.senado.gov.br%2Fsdleggetter%2Fpublic%2FgetDocument%3Fdocverid%3D1e303ae8-4fa0-4318-a020-8c61a8719a7%3B1.1&usg=AFQjCNFuliQmbO1MikSVgePflS6GivsgyQ>. Acesso em: 28 abr.2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. EMPRAPA. **Dia Mundial do Leite, uma data para ser muito comemorada.** [S.l.] 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/busca-de-noticias/-/noticia/23617989/dia-mundial-do-leite-uma-data-para-ser-muito-comemorada>>. Acesso em: 06 set. 2017.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria nº 080 de 12 de maio de 1986.** [S.l.] [20--]. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC000067.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção da pecuária municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 47p. (v.43). Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015a_v43_br.pdf. Acesso em: 06 set. 2017.

CAMMAROTA, M. C. **Tratamento de efluentes líquidos.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. 72 p. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2017.

CARNEIRO, S. de S. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº01, de 05 de maio de 2008.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/DeliberaNormativaConjuntaCOPAM-CERHno01-2008.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2017.

CARVALHO, A. R. P; SILVA, D. de O. e. **Etapas de um tratamento de efluente.** Disponível em: <<http://kurita.com.br/index.php/artigos-tecnicos/tratamento-de-efluentes/>>. Acesso em: 26. Abr. 2017.

CAVALCANTI, J. E. W de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais.** 2. ed. ampl. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2012. 500 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 230:** Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts230.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

COSTA, C. M. et al. **Soro do leite e os danos causados ao meio ambiente.** In: Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 10., 2014, Guarujá - SP. Resumo do trabalho apresentado... Guarujá - SP: [s.n], 2014. P.1-4. Disponível em: <http://www2.unifesp.br/home_diadema/eba2014/br/resumos/R0038-1.PDF>. Acesso em: 23 maio 2017.

DANIEL, D.D. **Avaliação de processos biológicos utilizado no tratamento de efluentes de laticínio.** 2008. 62 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental)-Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008. Disponível em:

<<http://www.unaerp.br/documentos/357-devanir-donizeti-daniel/file>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

FIEMG. **Guia técnico ambiental da indústria de laticínios**. Minas Gerais: [2014?]. 70 p. Disponível em:

<http://www7.fiemg.com.br/Cms_Data/Contents/central/Media/Documentos/Biblioteca/PDFs/FIEMG/MeioAmbiente/2014/CartilhasPublicações/FI-0066-14-CARTILHA-LATICINIOS3-INTRANET.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2017.

GAUTO, M.A; ROSA, G.R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna. 2011. 417 p.

GOMES, A. L. **Análise técnica e econômica de filtro anaeróbio utilizado para o tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de laticínios - Estudo de caso**. 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/197M.PDF>>. Acesso em: 23 maio 2017.

HENARES, J. F. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. 2015. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4899/1/CM_COEAL_2015_1_06.pdf>. Acesso em: 22 maio 2017.

IBRAHIN, F.I.D; IBRAHIN, F. J; CANTUÁRIA, E. R. **Análise ambiental: gerenciamento de resíduos e tratamento de efluentes**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015. 144 p.

JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 968 p.

KISPERGHER, E.M. **Digestão anaeróbia de efluentes da indústria de alimentos**. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/Disserta%20EDUARDO%20KISPERGHER.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

MAGANHA, M.F.B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos**. São Paulo: CETESB, 2006. 95 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 21 maio 2017.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Plano de ação para adequação ambiental das indústrias de recepção e preparação de leite e fabricação de produtos de laticínios no Estado de Minas**. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 129 p. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/1284-plano-de-acao-para-adequacao-ambiental-das-industrias-de-recepcao-e-preparacao-de-leite-e-fabricacao-de-produtos-de-laticinios>>. Acesso em: 28 maio. 2017.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte: FEAM, 2015. 158 p. Disponível em:

<http://www7.fiemg.com.br/Cms_Data/Contents/central/Media/.../CARTILHA-BIOGAS.pdf>. Acesso em: 28 abr.2017.

MORAES, M. V. P. **LEGISLAÇÃO CITADA ANEXADA PELA COORDENAÇÃO DE ESTUDOS LEGISLATIVOS – CEDI INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 51, DE 18 DE SETEMBRO DE [20--]**. Disponível em:
<<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/141673.pdf>>. Acesso em: 26 maio.2017.

MOREIRA, C. A; DOURADO, J. C; SANTOS, K dos. **Geofísica aplicada no estudo de área de lançamento de efluentes de tratamento de esgoto**. Disponível em:
<<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106805/ISSN1980-900X-2007-26-1-17-25.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

NETO, H.M. REVISTA TAE. São Paulo: TAE. n. 21, out./nov.2014. Disponível em:
<<http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=245&fase=c>>. Acesso em: 06 maio 2017.

PILA, J. **Carta leite**: maiores laticínios do Brasil em 2015. Disponível em:
<<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/cartas/43265/carta-leite---maiores-laticinios-do-brasil-em-2015.htm>>. Acesso em: 30 maio.2017.

POKRYWIECKI, T. S. et al. **Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticínios**. Revista Acadêmica: Ciência Ambiental. Curitiba, v. 11, n. S1, p. 155-161, mar. 2013. Disponível em:
<<http://www2.pucpr.br/reol/pb/index.php/academica?dd1=12442&dd99=view&dd98=pb>>. Acesso em: 23 maio 2017.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes**: fundamentos e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 424 p.

SANTOS, C.R. **Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de laticínios**. 2010. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR-MG, Formiga, 2010.

SCHOENINGER, F. **Estudo da biodegradabilidade de efluentes de laticínio**. 2005. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102302>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

SHREVE, R.N; JUNIOR, J.A.B. **Indústrias de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997, 117p.

SILVA, D. de O; CARVALHO, A. R. P. **Etapas de um tratamento de efluente**. São Paulo: Kurita, 2002. Disponível em:
<http://www.kurita.com.br/adm/download/Etapas_do_Tratamento_de_Efluentes.pdf>. Acesso em: 26 abr.2017.

SILVA, D.J.P. da. **Sistema de gestão ambiental para a indústria de laticínios**. 2011a. 194 p. Tese (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em:

<<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/441/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

_____. **Resíduos na indústria de laticínios**. 2011b. 21 p. Série Sistema de Gestão Ambiental. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: Acesso em: 22 maio 2017.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. rev. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a. 243 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1).

_____. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 211 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.2).

_____. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996c. 196 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.3).

_____. **Lodos ativados**. 2. ed. ampl. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 428 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.4).

TERA. **5 Problemas que podem ocorrer quando não há o tratamento de resíduos líquidos**. 2013a. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/216366/5-Problemas-que-podem-ocorrer-quando-n%C3%A3o-h%C3%A1-o-tratamento-de-res%C3%ADduos-l%C3%ADquidos>>. Acesso em: 31 maio.2017.

_____. **Conheça os danos causados pelos efluentes não tratados**. 2013b. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/350779/conheca-os-danos-causados-pelos-efluentes-nao-tratados>>. Acesso em: 30 maio.2017.

TOLENTINO, N.M de C. **Processos químicos industriais: matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015. 160 p.

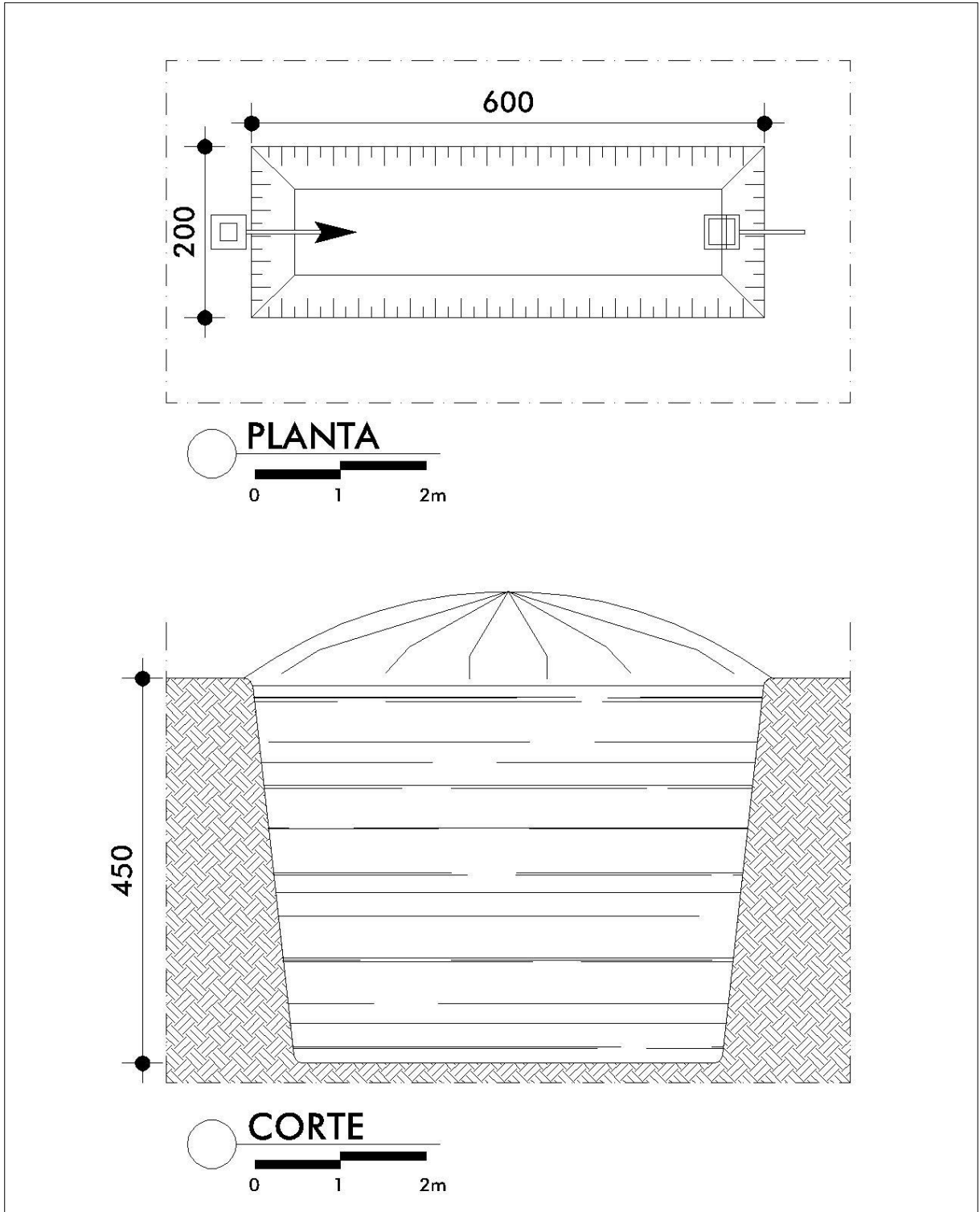
UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. **Lagoas de estabilização**. [19--?]. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A6.pdf>. Acesso em:20 ago. 2017.

ZOCCAL, R. **Alguns números do leite**. Jardim São Paulo: Balde Branco, 2016. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>>. Acesso em: 30 maio.2017.

_____. **Dez países top no leite**. Jardim São Paulo: Balde Branco, 2017. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/dez-paises-top-no-leite/>>. Acesso em: 08 jun. 2017.

WAELEKENS, B.E. **Tratamento de efluentes industriais mediante a aplicação de argila organofílica e carvão ativado granular**. 2010. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-18082010-165358/pt-br.php>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

APÊNDICE A - Planta da lagoa anaeróbia



APÊNDICE B - Planta das lagoas facultativas