

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**KARINA CERQUEIRA NAVARRO**

**DIAGNÓSTICO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO SISTEMA DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM LATICÍNIO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2016**

**KARINA CERQUEIRA NAVARRO**

**DIAGNÓSTICO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO SISTEMA DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UM LATICÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profa. Dra. Juliana Bortoli  
Rodrigues Mees  
Co-orientador: Me. Gisele Maria Brod  
Caldereiro

**MEDIANEIRA**

**2016**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Medianeira  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

DIAGNÓSTICO E PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES DE UM LATICÍNIO

por

KARINA CERQUEIRA NAVARRO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 15:50h do dia 29 de novembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Profa. Dra. Juliana Bortoli Rodrigues Mees  
Orientador

---

Profa. Dra. Alice Jacobus de Moraes  
Membro Titular

---

Prof. Dra. Dangelma Maria Fernandes  
Membro Titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

*À Deus, que me colocou neste curso e permitiu que eu chegasse até aqui para honra e glória do Seu nome.*

*Aos meus pais e minha avó, Willys Navarro (in memoriam), Elizete C. S. Navarro e Dolores Garcia Morales, esta vitória é graças a vocês.*

## AGRADECIMENTOS

A minha gratidão a Deus, pelo dom da vida, pela saúde, por conduzir meus passos dia a dia, minuto a minuto, desde o momento em que pisei os pés em Medianeira pela primeira vez até o dia de hoje.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ser a instituição que tornou esta da graduação e outros sonhos, como o intercâmbio, uma realidade em minha vida e por ter me proporcionado momentos inesquecíveis de aprendizado.

Aos doutores e mestres do curso de Engenharia Ambiental, o meu respeito e admiração por sua dedicação. Obrigada por me conduzirem no caminho rumo a mais uma conquista de vida.

À minha orientadora pela paciência em todo o momento, pela sensibilidade e sabedoria nas palavras e gestos, por não medir esforços quando o assunto é educação e ensino, por transmitir com maestria e propriedade a profissão que por vocação desempenha e por colaborar de forma tão generosa para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, muito obrigada de coração.

Ao Evandro Mees pela generosidade em abrir mão de um dia seu de folga para nos acompanhar até Capanema e por suas contribuições ao longo do caminho.

Aos meus amigos e futuros colegas de profissão que terão uma longa jornada pela frente. Àqueles que me ensinaram com sua personalidade a respeitar as diferenças, aos que me fizeram perceber que somos o tamanho dos nossos sonhos e principalmente à Jeysa, Isabela, Cláudia, Fernanda, Michele, Bruna M., Bruna B. e Nathan por sua amizade. Espero que esses laços nunca se rompam!

A minha mãe, Elizete e minhas irmãs, Paola e Aline pelo incentivo e apoio em todos os momentos. Ao meu namorado Filipe que esteve ao meu lado me dando coragem, força e sempre me ajudando nos momentos em que mais precisei e por seu reconhecimento do meu esforço até chegar neste momento. E a todos que de alguma maneira fizeram parte deste momento, o meu muito obrigada.

*“A verdadeira educação não desconhece o valor dos conhecimentos científicos ou aquisições literárias; mas acima da instrução aprecia a capacidade, acima da capacidade, a bondade, e acima das aquisições intelectuais, o caráter” (WHITE, Ellen G., 2008).*

## RESUMO

NAVARRO, Karina Cerqueira. **Diagnóstico e proposição de melhorias no sistema de tratamento de efluentes de um laticínio**. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Este estudo tem como principal objetivo efetuar o diagnóstico e a caracterização do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios, produtora de queijos, localizada no Sudoeste do Estado do Paraná. Também busca avaliar sua eficiência e elaborar um prognóstico, visando à remoção de poluentes. A partir do diagnóstico detalhado, realizado através do levantamento de dados qualitativos, como a disposição das unidades que compõe o sistema de tratamento e observações *in loco*, bem como, dados quantitativos das análises laboratoriais, dimensões das unidades de tratamento, tempo retenção hidráulica, dentre outros. Constatou-se que, no tratamento preliminar as barras do gradeamento encontram-se muito espaçadas, os tempos de retenção hidráulica nas caixas de gordura 1 e 2 foram elevados ( $TDH_1 = 1$  hora e 36 minutos e  $TDH_2 = 2$  horas e 15 minutos) e as taxas de aplicação foram baixas ( $1,120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , respectivamente). Quanto ao tratamento secundário, o TDH da lagoa anaeróbia foi de 58 dias, muito acima do recomendado pela literatura, com remoção de matéria orgânica mínima de 53,60% e máxima 87,82%, e o TDH da lagoa facultativa foi de 90 dias com eficiência de remoção de matéria orgânica mínima de 19,02% e máxima de 72,36%. Assim foram propostas melhorias no sistema afim de otimizar o tratamento e atender aos padrões de qualidade exigidos pelo órgão ambiental.

**Palavras-chave:** Indústria. Laticínio. Queijos. Efluentes. Tratamento.

## ABSTRACT

NAVARRO, Karina Cerqueira. **Diagnosis and proposition of improvements in the effluent treatment system of a dairy**. 2016. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

This study has as main objective to carry out the diagnosis and a characterization of the effluent treatment system of a cheese industry, located in the Southwest of the State of Paraná. It also seeks to evaluate its efficiency and to prepare a prognosis, mainly aiming at the removal of pollutants. From the detailed diagnosis, done by the collection of qualitative data, such as the arrangement of the units that make up the treatment system and on-site observations, as well as quantitative data of the laboratory analyzes, dimensions of the treatment units, hydraulic retention time etc., it was observed that in the Preliminary Treatment the bars of the railing are too spaced, the hydraulic retention times in the oil and grease retention tanks 1 and 2 were higher than recommended ( $TDH_1 = 1$  hora e 36 minutos and  $TDH_2 = 2$  horas e 15 minutos) application rates were low ( $1,120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  and  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  respectively). In the Secondary Treatment, the TDH of the anaerobic pond was 58 days, much higher than that recommended by the literature, with a minimum organic matter removal of 53.60% and a maximum of 87.82%, while the TDH of the facultative pond was 90 days, with a minimum efficiency removal of 19.02% and maximum of 72.36%. Thus, improvements were proposed in the system to optimize the treatment and to meet the quality standards required by the environmental agency.

**Keywords:** Dairy industry. Industrial liquid effluents. Effluent treatment system.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fontes dos efluentes de várias unidades do processo de fabricação de queijo. AL: Água de Lavagem; PL: Produtos de Limpeza; AR: Água de Resfriamento; VP: Vapor; EL: Efluente Líquido.....	17
Figura 2 – Mapa de localização do município de Capanema e da Unidade Fabril de Laticínios .....	30
Figura 3 – Fluxograma do atual sistema de tratamento de efluentes e as unidades que o compõe, indicando também os pontos de amostragem. (P1, P2, P3 e P4) .....	31
Figura 4 – Tratamento Preliminar – Gradeamento .....	37
Figura 5 – Tratamento Preliminar: A – Detalhe do efluente bruto na entrada do gradeamento; B – Tanque de homogeneização.....	38
Figura 6 – Tratamento Preliminar: Caixas de Gordura 1 (com grade de proteção) e 2 (sem grade de proteção) .....	38
Figura 7 – Tratamento Secundário: A – Lagoa Anaeróbia; B – Lagoa Facultativa....	39
Figura 8 – Disposição Final: A – Lagoa de escape ou contensão; B – Área de pastagem (fertirrigação) .....	40
Figura 9 – Esquema espaçamento e número de barras proposto no gradeamento..	42
Figura 10 – Esquema do vertedor triangular proposto .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores dos parâmetros físico-químicos típicos para efluentes líquidos em diferentes laticínios. (A) Laticínio de pequeno porte; (B) Produção de queijos diversos; (C) Produção de queijos diversos; (D) Laticínios diversos; (E) Produção de queijo de cabra .....	19
Tabela 2 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de grades .....	22
Tabela 3 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de caixas de gordura ..	23
Tabela 4 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de lagoas de estabilização .....	25
Tabela 5 – Pontos de amostragem na ETE .....	32
Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos analisados e respectivos métodos e protocolos utilizados na caracterização do efluente .....	33
Tabela 7 – Dimensões e descrição das unidades que compõe o sistema de tratamento de efluentes do laticínio.....	35
Tabela 8 – Resultados das análises físico-químicas do efluente bruto .....	41
Tabela 9 – Resultados das análises físico-químicas nos quatro pontos de amostragem .....	41

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FAI	Flotação por Ar Induzido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Nitrogênio Amoniacal
OG	Óleos e Graxas
pH	Potencial Hidrogeniônico
P-Total	Fósforo Total
Q <sub>máx</sub>	Vazão máxima
Q <sub>méd</sub>	Vazão média
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
T°C	Temperatura em graus Celsius
TDH	Tempo de Detenção Hidráulico
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Objetivo Geral.....	14
2.1.2 Objetivos Específicos.....	14
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
3.1 INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS X GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	15
3.1.1 Caracterização do Efluente na Indústria de Laticínios .....	18
3.2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM LATICÍNIO	19
3.2.1 Tratamentos Preliminar e Primário .....	21
3.2.2 Tratamento Secundário .....	24
3.3 DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS.....	26
3.3.1 Disposição em Corpos Hídricos.....	26
3.3.2 Disposição no Solo .....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	29
4.2 DIAGNÓSTICO DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO LATICÍNIO.....	32
4.3 AVALIAÇÃO, REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA .....	33
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1 DIAGNÓSTICO DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO LATICÍNIO.....	35
5.1.1 Caracterização Físico-Química do Efluente.....	40
5.2 AVALIAÇÃO, REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA .....	42
5.2.1 Tratamento Preliminar .....	42
5.2.2 Tratamento Secundário .....	44
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A – PLANILHA DE AUTO-MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POLUENTES .....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE C – REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário e a indústria de alimentos desempenham um importante papel na economia brasileira, juntos geram aproximadamente um quarto de toda a renda nacional, assim representam uma das mais tradicionais e expressivas estruturas produtivas do país. Dentre os diversos ramos da indústria alimentícia, o setor lácteo destaca-se entre os principais, pois, tem se mantido em crescimento ao longo dos anos. O estado do Paraná é um dos estados com maior produção de leite e produtos lácteos do país, sobretudo nas regiões Oeste e Sudoeste.

Entretanto, juntamente com o crescimento do setor está a responsabilidade de assegurar o cuidado com o meio ambiente e a produção sustentável. Tanto a indústria de laticínios como outras indústrias estão sob constante pressão através de mudanças na legislação ambiental, negociações comerciais para fins de exportação e clientes cada vez mais preocupados com as condições de fabricação dos produtos.

Na indústria de laticínios são gerados aspectos ambientais inerentes ao processo ao longo de todas as etapas de produção, sendo os efluentes líquidos industriais um potencial causador de impactos ambientais. Suas características variam de acordo com o porte, condições operacionais da indústria e os tipos de produtos que ela fabrica. Embora o problema dos efluentes variem amplamente entre plantas de processamento de leite e de produtos lácteos, nenhuma delas produz efluentes tóxicos.

Durante o processamento de produtos lácteos são gerados alguns subprodutos que podem ser aproveitados em diferentes indústrias. O soro e a água de filagem, subprodutos oriundos da fabricação do queijo, quando descartados juntos com o efluente industrial tornam-se grandes poluentes, pois, aumentam consideravelmente a carga orgânica e o volume dos despejos além de tornar o tratamento mais complexo.

Os despejos líquidos poluentes têm origem nos diversos setores dessa indústria, desde o recebimento da matéria prima, nos equipamentos envolvidos direta ou indiretamente no processo produtivo até a expedição do produto final. Além disso, derrames devido a falhas de operação de equipamentos, perdas no processo durante a operação de equipamentos, descartes de subprodutos ou produtos rejeitados também podem ser lançados nas tubulações de esgotamento de águas residuárias.

A eficiente gestão dos efluentes gerados na planta industrial de laticínios é de suma importância para manter a unidade em operação e garantir sua sobrevivência no mercado. O sistema de tratamento proposto deverá atender aos requisitos exigidos pelo órgão ambiental quanto aos padrões de lançamento e qualidade das águas receptoras conforme sua classe, condições de reuso ou lançamento no solo através de infiltração e irrigação de culturas, além das necessidades da indústria. Quando o sistema de tratamento existente for mal projetado, ou quando este não é operado adequadamente, o resultado será um efluente final que não atende às exigências da legislação.

Sendo assim, de acordo com as informações obtidas pela interpretação dos dados coletados em campo, das análises de auto monitoramento, com base nos parâmetros de projeto e critérios estipulados pela literatura, este trabalho busca diagnosticar a situação atual do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio localizado no sudoeste do Paraná, com o objetivo propor soluções de melhoria afim de otimizar o tratamento e atender aos padrões de qualidade exigidos pelo órgão ambiental.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1.1 Objetivo Geral

Efetuar o diagnóstico e caracterização do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínio, de modo a avaliar sua eficiência e propor melhorias, visando à remoção de poluentes.

### 2.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente bruto quanto aos parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, óleos e graxas, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total e cloretos;
- Caracterizar físico-quimicamente o afluente e o efluente de cada unidade, operação ou processo que compõe o sistema de tratamento;
- Efetuar o diagnóstico do atual sistema de tratamento, quanto a caracterização, vazão, dimensões e eficiência;
- Elaborar o prognóstico e propor melhorias no sistema de tratamento de efluentes, com base nos parâmetros de projeto e critérios estipulados pela literatura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Os setores agroindustrial e alimentício são as atividades que mais geram riquezas para o país atualmente. Dentre os diversos ramos da indústria alimentícia está a indústria de transformação e processamento de leite, um dos principais setores da agroindústria do país, que tem uma importância social e econômica expressiva (EMBRAPA, 2015).

O Brasil é tradicionalmente um grande produtor e consumidor de leite e produtos lácteos. De acordo com Rocha (2016) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o consumo de lácteos no Brasil em 2014 que envolve itens como leite longa vida, queijos e iogurtes, atingiu a marca de 174 litros equivalentes de leite per capita e foram produzidos no país cerca de 35,17 bilhões de litros de leite, com um aumento percentual de 2,7 em relação ao ano de 2013 (IBGE,2014).

Em 2015, segundo o *United States Department of Agriculture - USDA*, o Brasil ocupou a sexta posição no ranking dos maiores produtores de leite do mundo e tem capacidade de se tornar um grande exportador de produtos lácteos, devido às suas vantagens competitivas tais como disponibilidade de água e terra, tecnologia e custo de produção competitivo (USDA, 2015).

No Paraná, há uma tendência de crescimento no número de empregos oferecidos pela indústria de laticínios em função da ampliação dos estabelecimentos e aumento da representatividade do setor. O estado é o segundo maior produtor de laticínios do país e se destaca pela alta produção e pela qualidade, sobretudo nas regiões Oeste e Sudoeste. Em um levantamento feito em 2009, o Paraná possuía 301 unidades de processamento e transformação de leite sob inspeção federal, estadual ou municipal espalhadas em 169 municípios (BAPTISTA; SUGAMOSTO; WAVRUK, 2010).

De modo geral as indústrias de laticínios são bastante heterogêneas em relação aos produtos gerados, às tecnologias empregadas e ao tamanho, existindo desde pequenos laticínios particulares até multinacionais e grandes cooperativas (MACHADO et al., 2002). Baptista, Sugamoto e Wavruk (2010) classificaram os laticínios do Paraná pelo porte em micro, pequeno, médio, médio-grande e grande de



acordo com a capacidade média de processamento por mês e o faturamento bruto anual. Aproximadamente 80% dos laticínios paranaenses têm capacidade de processamento inferior a 900 mil litros de leite por mês e apenas 1,3% têm capacidade superior a 3 milhões de litros/mês.

Ressalta-se que a competitividade e sobrevivência do setor também estão relacionadas à qualidade dos produtos oferecidos no mercado. No caso das indústrias brasileira e paranaense, o principal condicionante para uma eficiente gestão da qualidade é a redução de custos e desperdícios, já que grande parte do consumidor ainda considera o preço, em vez de qualidade, como principal fator de decisão para a aquisição de produtos lácteos (MAGANHA, 2006).

Boa parte desses custos envolvem o controle ambiental, tratamento e destinação dos resíduos gerados pelos laticínios sendo que, de acordo com a *European Commission* (2006), a geração de efluentes na indústria de laticínios leva em consideração o tipo de produto fabricado.

A indústria de laticínios é uma das mais poluentes, não somente em termos de volume de efluente gerado, bem como quanto a sua caracterização. Durante os processos de obtenção de produtos lácteos, são gerados de 0,2 a 10 litros de efluente por litro de leite processado, mais especificamente 3 litros por quilo de leite processado para produtos brancos, como leites, cremes e iogurtes, cerca de 4 litros por quilo de leite processado para produtos amarelos, como manteigas e queijos (SHETE; SHINKAR, 2013; EUROPEAN COMMISSION, 2006 apud MAGANHA, 2006).

Para produção do queijo, o leite pré-tratado passa por processos de coagulação através de enzimas. Dessa forma, a emulsão do leite é quebrada e duas fases são obtidas, uma sólida (coalhada) e outra líquida (soro de leite). A coalhada é cortada, enformada e prensada. A massa formada recebe a salga antes de passar, por fim, pelos processos de secagem e maturação (ANDRADE, 2011). O soro do leite é gerado durante a produção de queijo e pode corresponder a 90% do volume de leite usado na fabricação do produto. Rico em matéria orgânica, ele é considerado de 60 (sessenta) a 80 (oitenta) vezes mais poluente que o esgoto doméstico (SHETE; SHINKAR, 2013).

Os principais pontos de geração de efluentes em indústrias de laticínios, incluso as queijarias, são a lavagem e limpeza de caminhões, derramamento, vazamentos ou transbordamento de tanques, perdas no processo produtivo e

descarte de produtos, como soro ou leite ácido, que resultam em uma quantidade que varia de 1 a 6 litros de despejos para cada litro de leite processado (MAGANHA, 2006). A Figura 1 apresenta o fluxograma geral do processo de fabricação de queijo e as principais fontes geradoras de efluentes. Nele é possível identificar que em todos os processos, com exceção da expedição, são gerados efluentes líquidos.

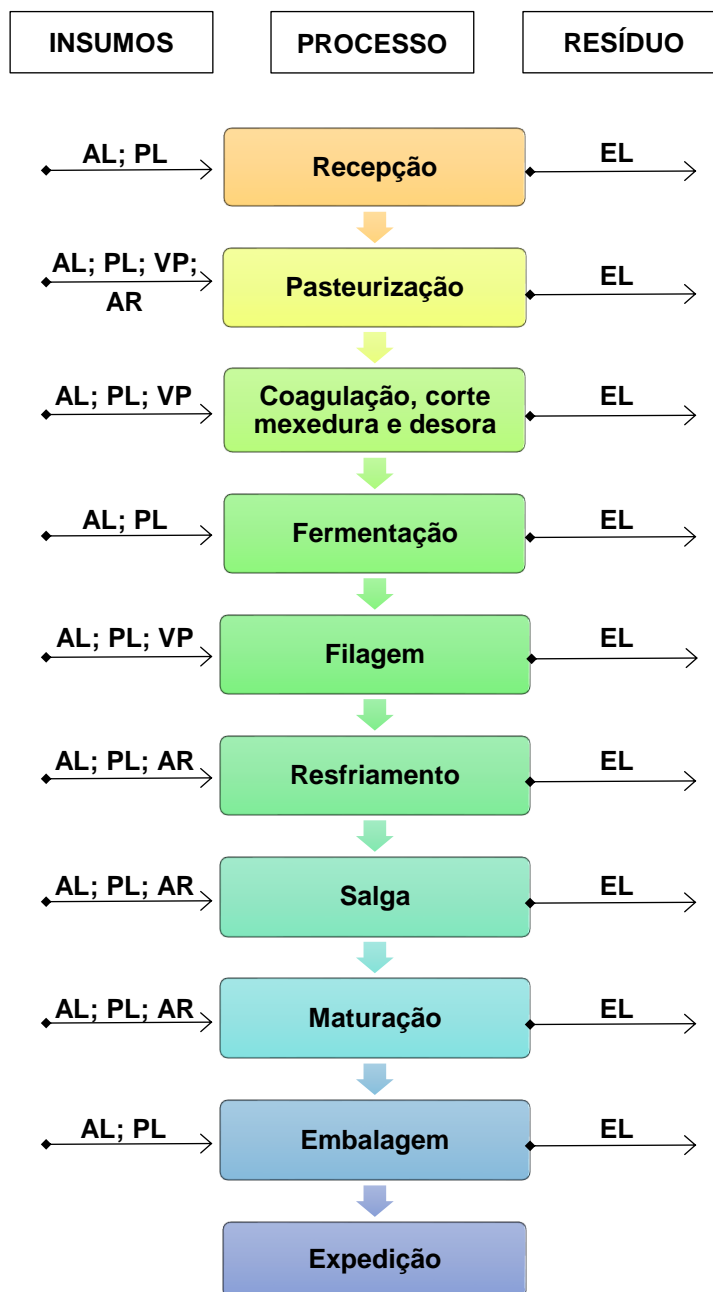


Figura 1 - Fontes dos efluentes de várias unidades do processo de fabricação de queijo. AL: Água de Lavagem; PL: Produtos de Limpeza; AR: Água de Resfriamento; VP: Vapor; EL: Efluente Líquido  
Fonte: Adaptado de SHETE; SHINKAR, 2013

No processo de coagulação são adicionados coagulantes que irão dar o ponto certo à massa que será mexida, cortada e prensada num processo chamado dessoragem. Nesta etapa é gerado um subproduto, o soro do leite, utilizado como matéria prima em indústrias de concentração de proteínas do soro, entre outras. Na fermentação são adicionadas leveduras, que conferem ao queijo sabor e aspecto inigualáveis, e geralmente são reutilizadas.

Já na filagem a massa fermentada passa por um aquecimento e prensagem novamente afim de obter maior elasticidade. Nesta etapa o subproduto gerado é a água de filagem com alto valor nutricional. A grande quantidade de água utilizada nos processos de limpeza e fabricação propiciam a geração de grandes volumes de efluente. Os principais insumos utilizados são água de lavagem, produtos de limpeza, água de resfriamento e vapor.

### 3.1.1 Caracterização do Efluente na Indústria de Laticínios

As características do efluente proveniente da fabricação de produtos lácteos estão diretamente relacionadas com as características do leite que é a matéria-prima utilizada. No Brasil, o leite de vaca é o mais comum e sua composição pode variar de acordo com a raça, tipo de alimentação, clima, entre outros fatores. Em média 87,5% do leite é água e 12,5% é extrato seco total, sendo 4,7% de lactose, 3,5% de proteínas como a caseína, principal componente para a fabricação de queijos, 3,5% de gorduras e 0,8% de sais minerais (FEAM; FIEMG, 2014).

Os efluentes gerados pelos processos produtivos nas indústrias de laticínios possuem elevado teor de conteúdos orgânicos (caracterizados pela DBO e DQO) e óleos e graxas (OG), podendo conter matéria sólida e nutrientes. Mais especificamente, de acordo Machado, Freire e Silva (2000), os constituintes presentes nesses efluentes incluem: substâncias orgânicas associadas ao leite; detergentes e desinfetantes (higienização); areia, poeira, água de lavagem (limpeza e transporte); lubrificantes (manutenção), podendo conter açúcar, pedaços de frutas, essências, soro, leiteiro, etc. Além disso, as características dos efluentes variam entre as diferentes atividades de industrialização do leite como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 – Valores dos parâmetros físico-químicos típicos para efluentes líquidos em diferentes laticínios. (A) Laticínio de pequeno porte; (B) Produção de queijos diversos; (C) Produção de queijos diversos; (D) Laticínios diversos; (E) Produção de queijo de cabra**

Parâmetro	Faixa				
	A <sup>(1)</sup>	B <sup>(2)</sup>	C <sup>(3)</sup>	D <sup>(4)</sup>	E <sup>(5)</sup>
pH	4,9 - 11,28	ND	4 - 12	5,3 - 9,4	3,5 - 6
T (°C)	32 - 39	ND	ND	12 - 40	ND
OG (mg.L <sup>-1</sup> )	22,1 - 806	75 - 439	ND	35 - 500	90 - 4.440
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	496 - 1.712	18.485 - 19.755	450 - 4.790	450 - 4.790	1.790 - 7.170
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	2.120 - 4.287	21.227 - 23.920	ND	500 - 4.500	3.174 - 16.700
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	0,9 - 3,76	8.838 - 10.052	ND	ND	ND
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	ND	1.540 - 1.870	24 - 5700	135 - 8.500	1.150 - 1.960
SSed (mL.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	00 - 27	1,4 - 2,3	ND	ND	ND
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	ND	ND	ND	10 - 250	ND
P-total (mg.L <sup>-1</sup> )	ND	92,4 - 175,5	60 - 807	20 - 250	63,5 - 69,5
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	ND	ND	48 - 469	48 - 469	2.840 - 5.059

**Fonte: Adaptado de <sup>(1)</sup> SILVA, 2006; <sup>(2)</sup> MINAS AMBIENTE/CETEC, 2000; <sup>(3)</sup> EPA, 1997; <sup>(4)</sup> IPCC, 2006 apud HENARES, 2015; <sup>(5)</sup> COSTA, 2011.**

*ND: Não Disponível*

Nas queijarias, é necessário saber qual parcela do leite é utilizada na produção de queijo e se o soro produzido é eliminado junto com o efluente, ou se é recuperado em maior ou menor proporção. A operação cuidadosa pode reduzir substancialmente a carga poluidora (IMHOFF, 1996). Os efluentes líquidos provenientes da fabricação de queijos geralmente apresentam alta salinidade, pois as concentrações de cloretos e sódio, resultado da adição de sal na etapa de imersão do queijo em salmoura, são bastante elevadas (PRAZERES, 2016).

### 3.2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM LATICÍNIOS

O sistema de tratamento de efluentes líquidos industriais é composto pela integração de operações unitárias físicas e processos (químicos e biológicos), que funcionam de forma organizada, com o objetivo de remover poluentes como impurezas, contaminantes, energia, entre outros, podendo ocorrer simultaneamente em uma mesma unidade de tratamento (NUNES, 2012; VON SPERLING, 1996).

Para Metcalf & Eddy (2016):

- ✓ Operações físicas unitárias: São métodos de tratamento no qual prevalecem a aplicação de forças físicas, por exemplo: gradeamento, sedimentação, flotação, filtração, entre outros.
- ✓ Processos químicos: São métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou devido a reações químicas, como: a precipitação química, adsorção, coagulação, etc.
- ✓ Processos biológicas: São métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica (aeróbia ou anaeróbia), visando principalmente a remoção de matéria orgânica carbonácea.

O conjunto de unidades, órgãos auxiliares, acessórios, dispositivos e equipamentos é geralmente denominado de estação de tratamento, que para tratar efluentes é denominada Estação de Tratamento de Efluentes – ETE (NUNES, 2012). Para a seleção do sistema de tratamento adequado deve-se levar em conta diversos aspectos críticos e fatores de importantes, como por exemplo a natureza da indústria e as características do efluente bruto, a vazão aplicável, aspectos climáticos, a eficiência, os requisitos de área, energia, operação e manutenção, a sustentabilidade, a confiabilidade do sistema, os custos de implantação e operação, entre outros (VON SPERLING, 1996).

Em indústrias de laticínios, um sistema de tratamento que remova satisfatoriamente os poluentes de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada, incorpora várias operações unitárias físicas, processos químicos e biológicos em seus níveis de tratamento: Preliminar, primário, secundário e, ocasionalmente terciário. Usualmente utiliza-se um tratamento preliminar, para separação de sólidos grosseiros carreados nos despejos, um tratamento primário, removendo-se nessa etapa, sólidos em suspensão e gorduras, com a conseqüente redução na concentração de DBO e finalmente, um tratamento secundário, onde ocorrerá a redução da matéria orgânica, através de processos biológicos, propostos como última etapa do tratamento (FEAM; FIEMG, 2014).

O sistema de tratamento de efluentes a ser adotado por determinada indústria é escolhido de acordo com a caracterização do efluente e a natureza da indústria.

Além de fatores, como disponibilidade de área, custo de implantação, vazão de efluentes gerados e porte da indústria (VON SPERLING, 2006).

O tratamento de efluentes de indústrias de laticínios é baseado principalmente em processos biológicos (tratamento secundário), tendo como objetivo a remoção da matéria orgânica, através do metabolismo de microrganismos, sendo possibilitado pelo grande percentual de matéria orgânica de fácil degradação (SANTOS et al., 2009). Para esse tipo de tratamento são utilizados, geralmente, processos anaeróbios, sistema de lagoas aeróbias, lodos ativados e suas variações, filtros biológicos de alta taxa e discos biológicos rotativos (biodiscos) (SCARASSATI et al., 2003 apud RIBEIRO, 2014).

Apesar da questão econômica ser fundamental, deve-se lembrar que nem sempre a melhor alternativa é simplesmente a que apresenta o menor custo em estudos de viabilidade econômica de projetos (VON SPERLING, 1996). E também, o sistema proposto deve atender as condições e padrões de lançamento e qualidade das águas receptoras conforme sua classe, as condições de reuso ou lançamento no solo através de infiltração, para irrigação de culturas, etc. (NUNES, 2012).

### 3.2.1 Tratamentos Preliminar e Primário

De acordo com Metcalf e Eddy (2016) o tratamento preliminar visa remoção de sólidos grosseiros, materiais de maiores dimensões e areia, por ação física. Sendo as principais operações: gradeamento, peneiramento, desarenação e retenção grosseira de óleos e graxas.

A remoção de material sólido grosseiro como plásticos, trapos, resíduos alimentares, dentre outros, geralmente é realizada por meio de grades de barras ou peneiras cuja limpeza pode ser feita através de raspagem manual ou mecanizada<sup>1</sup> e o material raspado eliminado separadamente. Sua vazão de dimensionamento deve ser a máxima vazão afluente ao sistema (ABNT, 2011). Alguns parâmetros de projeto para o dimensionamento de grades são apresentados na Tabela 2.

---

<sup>1</sup> Exceto para as grades grossas que devem ter limpeza mecanizada quando a vazão máxima afluente final for igual ou superior a 100 L/s ou quando o volume de material a ser retido justificar o uso de equipamento mecanizado, levando-se em conta também as dificuldades de operação relativas à localização e/ou profundidade do canal afluente (ABNT, 2011).

**Tabela 2 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de grades**

Parâmetro de Projeto	Unidade do Tratamento Preliminar
	Grades
<i>Espaçamento entre barras</i>	Grade Fina: 10 a 20 mm Grade Média: 20 a 40 mm Grade grossa: 40 a 100 mm (ABNT, 2011; CAVALCANTI, 2012).
<i>Inclinação das barras em relação à horizontal</i>	Limpeza manual: 45° a 60° Limpeza mecanizada: 60° a 90°(ABNT, 2011)  30 a 60° ou 90° (CAVALCANTI, 2012)

**Fonte: Aatoria própria, 2016**

O peneiramento tem como objetivo principal, a remoção de sólidos grosseiros (sólidos finos, fibras, etc.) com granulometria superior a 0,25 mm. As peneiras podem ser classificadas em estáticas e rotativas e, para dimensioná-las é recomendado consultar tabelas de fabricantes, utilizando a vazão máxima de projeto (NUNES, 2012).

As caixas de gordura são unidades de tratamento preliminar e funcionam retraindo partículas menos densas que as do meio para posterior remoção. É definida pela ABNT (1999) com uma unidade destinada a reter, na sua parte superior, camadas de gorduras, graxas e óleos contidos nas águas residuárias e sua instalação é obrigatória em todos os estabelecimentos que gerem efluentes que possam conter óleos e gorduras.

As caixas de areia visam reter substâncias inertes, como areias e sólidos minerais sedimentáveis (NUNES, 2012). São aplicadas com o intuito de evitar abrasão nos equipamentos e tubulações (bombas, válvulas, etc.); eliminar ou reduzir a possibilidade de obstruções em tubulações e demais unidades subsequentes do sistema; e facilitar o transporte do líquido (DACACH, 1991).

A remoção preliminar de óleos e graxas remove glóbulos livres superiores a 0,015 cm por gravidade e é muito comum para pequenas instalações em que a eficiência não precisa ser muito elevada. De acordo com Nunes (2012) são aplicadas para retenção de óleos e graxas de águas residuárias de frigoríficos, curtumes e laticínios. Porém é importante que esta unidade funcione adequadamente de modo a evitar que óleos e graxas sejam carregados para as operações ou processos subsequentes de tratamento, como por exemplo, para o tratamento biológico.

A presença de OG no tratamento secundário contribui para a progressiva perda de eficiência de remoção da matéria e estimula o crescimento excessivo de

microrganismos filamentosos que, intensificam a formação de espuma na superfície das lagoas (JUNQUEIRA, 2014). Alguns parâmetros de projeto para o dimensionamento de caixas de gordura são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de caixas de gordura**

Parâmetro de Projeto	Unidade do Tratamento Preliminar
	Caixa de Gordura
<i>Tempo de Retenção (TDH)</i>	Até 30 min (temperaturas >25°C)
<i>Profundidade (H)</i>	0,65 a 2,4 m (usual 1m);
<i>Relação Comprimento e Largura (C/L)</i>	2 - 3
<i>Eficiência na redução de OG</i>	50 a 60%
<i>Taxa de Aplicação superficial</i>	1,2 a 2,4 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> ; usual 1,8 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup> .

**Fonte: Adaptado de NUNES (2012)**

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), o tratamento primário visa a redução de sólidos em suspensão sedimentáveis; DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis). Ocorrem operações físicas, processos químicos e/ou físico-químicos, sendo que as operações físicas visam a remoção sólidos suspensos e parte da matéria orgânica (DBO em suspensão) e os processos químicos podem remover material coloidal, cor e turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados, etc.

Ainda no tratamento primário para alcançar uma maior eficiência de remoção de óleos de graxas, comparada a flotação ocorrida nas caixas de gordura, pode-se optar pela Flotação “forçada” por Insuflação de Ar (FAI) ou por Ar Dissolvido (FAD).

O sistema FAI também chamado de flotação por ar disperso consiste de uma câmara de flotação e um sistema impulsor de alta velocidade de rotação, que cisalha o ar formando bolhas com diâmetro entre 400 a 2000 µm. Caracteriza-se pelas condições hidrodinâmicas turbulentas, baixo tempo de detenção e emprego quantidades elevadas de ar (METCALF; EDDY, 2016).

No sistema FAD o ar é dissolvido no líquido sob condições pressurizadas de 50 a 70 lb/in<sup>2</sup> ou 3,4 a 4,8 atm, seguido por descompressão para a pressão atmosférica (1 atm), afim de que ocorra a formação de bolhas muito finas (microbolhas), de 40 a 70 µm, que irão ascender à superfície do tanque e conduzir consigo a matéria em suspensão ou as gorduras (ECKENFELDER, 2000).



### 3.2.2 Tratamento Secundário

O tratamento secundário ou tratamento biológico é responsável pela remoção da matéria orgânica (coloides e orgânicos dissolvidos), principalmente a matéria carbonácea, através de sua estabilização. A matéria orgânica está contida na fração de sólidos voláteis, mas normalmente é medida de forma indireta pela DBO e DQO e de forma direta pelo COT (Carbono Orgânico Total) (APHA; AWA; WEF, 2012). Propicia também sob determinadas condições a nitrificação, oxidação do nitrogênio amoniacal em nitrito e nitrato, e a desnitrificação, conversão dos nitratos em nitrogênio gasoso, além de remover parcial ou totalmente o fósforo, determinados compostos orgânicos de natureza tóxica (poluentes prioritários) ou persistentes (CAVALCANTI, 2012).

Os processos biológicos são os mais utilizados para o tratamento de efluentes de laticínios em razão da grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável presente em sua composição (BRAILE; CAVALCANTI, 1993). Existem diversos processos de tratamento a qual o efluente pode ser direcionado, porém as alternativas mais comuns e simples utilizadas em laticínios são os lodos ativados (convencional e de fluxo intermitente ou em batelada), filtros biológicos como por exemplo o sistema filtro anaeróbio-filtro aerado, reatores anaeróbios e lagoas de estabilização (FEAM; FIEMG, 2014).

As lagoas de estabilização são grandes tanques escavados no solo, na qual o efluente flui continuamente e é tratado por processos naturais através de microrganismos que decompõe a matéria orgânica (LEME, 2014).

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização utilizados em laticínios, destaca-se o sistema australiano, composto por lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Consiste em lançar diretamente o efluente bruto em uma lagoa com volume e área reduzidos, anaeróbia, onde permanece por um tempo de detenção curto, geralmente menor que 7 dias, completado com seu posterior lançamento em uma lagoa maior, facultativa, com proporção ideal de 1:5 para estar retido de 15 a 20 dias (FEAM; FIEMG, 2014; LEME, 2014).

Na lagoa anaeróbia inicialmente ocorre a estabilização anaeróbia da matéria orgânica em duas etapas principais: liquefação e formação de ácidos, através de bactérias acidogênicas, e formação de metano, através das bactérias metanogênicas.

Na primeira fase não há remoção de DBO, apenas a conversão da matéria orgânica a outras formas (ácidos). Já na segunda etapa, a DBO é removida, com a matéria orgânica sendo convertida a metano, gás carbônico e água, principalmente. Ocorre também a remoção de sólidos em suspensão, via sedimentação, que são incorporados ao lodo desempenhando um importante papel na depuração (FEAM; FIEMG, 2014; LEME, 2014).

As lagoas facultativas têm essa denominação devido às condições aeróbias mantidas na superfície, liberando oxigênio e às condições anaeróbias mantidas na parte inferior onde a matéria orgânica é sedimentada. O processo de estabilização da matéria orgânica ocorre pela ação diversos organismos, tais como microrganismos decompositores, bactérias, algas, protozoários, etc. coexistem em um processo de simbiose pela respiração e fotossíntese (LEME, 2014). O oxigênio necessário para satisfazer a demanda de DBO é produzido por algas como resultado da fotossíntese e utilizado por bactérias heterotróficas e autotróficas, para oxidação do carbono e do nitrogênio (VON SPERLING, 1996). São vários os parâmetros de projeto para o dimensionamento deste sistema, composto por lagoa anaeróbia seguida de facultativa, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 4 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de lagoas de estabilização**  
(continua)

Parâmetro de Projeto	Unidade do Sistema Australiano	
	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa
<i>Tempo de Retenção (TDH)</i>	Ideal: 3 a 6 dias. Até 10 dias. (VON SPERLING, 1996).	15 a 45 dias. Em série: Aprox. 10 dias em cada reator. (VON SPERLING, 1996)
	20 a 50 dias* (CAVALCANTI, 2012)	7 a 30 dias* (LEME, 2014)
	20 a 50 dias* (LEME, 2014)	15 a 20 dias** (LEME, 2014)
	3 a 7 dias** (LEME, 2014)	
<i>Profundidade (H)</i>	4,0 a 5,0 m (VON SPERLING, 1996)	1,5 a 3,0 m (VON SPERLING, 1996)
	Mínimo de 3,0 m (CAVALCANTI, 2012)	1,5 m (CAVALCANTI, 2012)
	2,5 a 5,0 m* (LEME, 2014)	1,0 a 2,0 m (MANCUSO; SANTOS, 2003)
<i>Relação Comprimento/ Largura (L/B)</i>	1 a 2 (VON SPERLING, 1996)	2 a 4 (VON SPERLING, 1996)

**Tabela 5 – Parâmetros de projeto para o dimensionamento de lagoas de estabilização (conclusão)**

Parâmetro de Projeto	Unidade do Sistema Australiano	
	Lagoa Anaeróbia	Lagoa Facultativa
<i>Remoção de lodo</i>	10 anos (VON SPERLING, 1996)	Maior que 20 anos (VON SPERLING, 1996)
<i>Eficiência Estimada (%) Redução da DBO</i>	50 a 60% Até 80%. (VON SPERLING, 1996)	70 a 85% (VON SPERLING, 1996)
	50-70%** (LEME, 2014)	80 a 95%* (LEME, 2014)
	40 a 60% (MANCUSO; SANTOS, 2003)	70 a 90%** (LEME, 2014)

**Fonte: Autoria própria, 2016**

\* No sistema convencional

\*\* No sistema Australiano

### 3.3 DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS

Após a utilização da água nas diversas etapas do processo industrial e posterior conversão em efluente, sua disposição final deve ser ambientalmente adequada segundo as normas e regulamentações estabelecidas tanto pelos órgãos ambientais nacionais, federal e estadual quanto por órgãos internacionais de proteção ambiental.

#### 3.3.1 Disposição em Corpos Hídricos

As indústrias, como um todo, lançam seus efluentes, devidamente tratados ou não, em corpos hídricos. Porém, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água desde que atendam às condições e padrões estabelecidos pelo órgão ambiental, resguardadas outras exigências cabíveis (CONAMA, 2011). No Paraná o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) apresenta em seu anexo 7 da Resolução CEMA 70/2009 as condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais para laticínios cujos parâmetros físico-químicos avaliados e seus limites aceitáveis são: DBO<sub>5</sub>, 100

mg.L<sup>-1</sup>; DQO, 200 mg.L<sup>-1</sup> e OG, até 50 mg.L<sup>-1</sup>. Os demais parâmetros são regidos pela Resolução federal do CONAMA nº 430/2011 (pH, entre 5 e 9; temperatura, inferior a 40°C. SSed, até 1 mL.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, Q<sub>máx</sub>, até 1,5 vez a Q<sub>méd</sub> da indústria; N-amoniaco total 20,0 mg.L<sup>-1</sup> e ausência de materiais flutuantes).

Quando não é possível fazê-lo devido a não existência de corpos d'água nas proximidades ou quando não é liberada outorga pelo órgão ambiental para o lançamento de efluentes, opta-se por outros meios de disposição final como a disposição no solo.

### 3.3.2 Disposição no Solo

A aplicação de águas residuárias pré-tratadas no solo é um método comum na indústria de laticínios. Os principais mecanismos de remoção de nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, etc.) em sistemas com disposição no solo são: perdas para a atmosfera, perdas por lixiviação e incorporação em águas subterrâneas, adsorção e imobilização de nutrientes no solo, e absorção pelas plantas com incorporação nos produtos de origem animal (SHETE; SHINKAR, 2013).

O uso dos nutrientes, matéria orgânica e água a partir de efluentes no solo é recomendada quando seus componentes, tais como sais, não prejudicam a qualidade da água e nem o meio ambiente. Em geral, a aplicação de efluentes no solo é considerada um meio eficiente de reciclagem de água, nutrientes e matéria orgânica. Contudo, as questões relativas à proteção das águas subterrâneas, estrutura do solo, contaminação do solo, salinidade e eutrofização das águas superficiais terão de ser cuidadosamente analisadas em escala local e regional (ARMCANZ; ANZECC, 1999).

Perdas de nitrogênio (principalmente sob a forma de nitrato) ocorrem quando há incorporação às águas subterrâneas por processo de lixiviação, dependendo da quantidade que foi removida em etapas anteriores do tratamento. Um fator que normalmente limita o uso de efluentes industriais no solo é o risco de contaminação das águas subterrâneas, que posteriormente serão utilizadas no abastecimento humano, por nitratos. Demais nutrientes como fósforo, sódio, potássio, cálcio e magnésio geralmente não causam problemas de contaminação em águas

subterrâneas pois são imobilizados no solo em trocas catiônicas (SHETE; SHINKAR, 2013).

A irrigação de culturas utilizando efluentes tratados é conhecida como fertirrigação, por tratar-se de uma água rica em nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. A absorção de nitrogênio pelas plantas pode atingir até  $500 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto para o fósforo, a quantidade é de cerca de  $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Se os animais consomem posteriormente a pastagem, até 90% do nitrogênio e fósforo são reciclados para a pastagem (SHETE; SHINKAR, 2013). Esse método de disposição final é utilizado na unidade fabril de laticínios de Capanema para irrigação de pastagens.

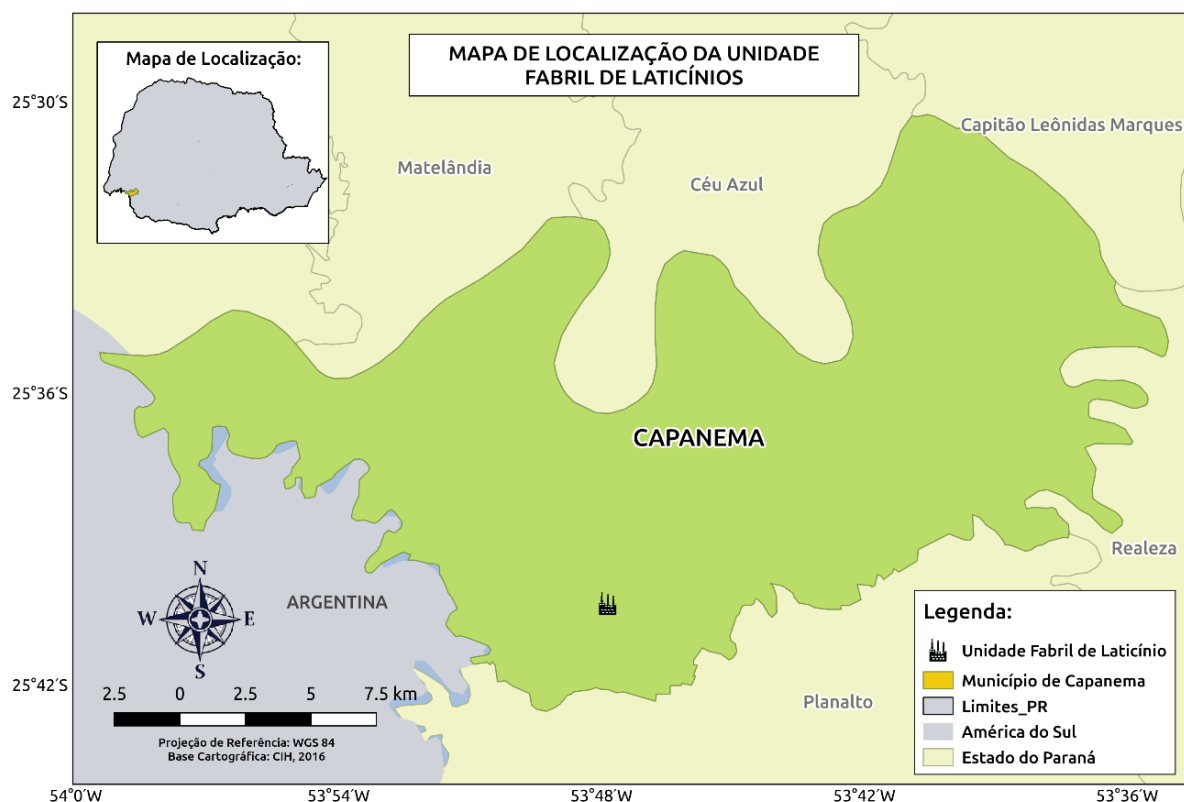
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo de caso foi dividido em três etapas: diagnóstico, prognóstico e propostas de melhoria e adequação do atual sistema de tratamento de efluentes do laticínio. A etapa do diagnóstico consistiu de um levantamento e análise dos dados obtidos em campo, bem como, das informações fornecidas pela empresa. Com as informações sobre o funcionamento do sistema em mãos foi possível calcular a eficiência real de cada unidade de tratamento e, com base em dados secundários, redimensionar o sistema na etapa do prognóstico, de modo a propor soluções que atendessem às necessidades da indústria.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de um laticínio de médio porte localizado no município de Capanema, sudoeste do Paraná, nas coordenadas geográficas 25°40'20.80" Latitude Sul e 53°47'52.60" Longitude Oeste (Figura 2).

A unidade recebe diariamente 44.500 litros de leite que são matéria-prima para a fabricação de quatro variedades de queijos: muçarela peça, prato peça, gouda pedaço e mini provolone, totalizando aproximadamente 150 toneladas. A industrialização opera de segunda a sábado de 16 a 17 h.dia<sup>-1</sup>. São consumidos em média 80 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de água nas instalações industriais nos processos de recebimento, industrialização, higienização e uso pessoal. A maior parte do abastecimento provém de um poço artesiano e uma vertente que é acionada quando necessário.



**Figura 2 – Mapa de localização do município de Capanema e da Unidade Fabril de Laticínios**  
**Fonte: Autoria própria, 2016**

Do volume captado, uma parte muito pequena é perdida por evaporação, parte é usada na reposição de água nas torres de resfriamento e caldeira, e parte é utilizada em operações de lavagem pelo sistema *clean in place* - CIP devendo atender ao padrão de potabilidade. Estima-se que 100% da água utilizada seja convertida a efluente devido a não incorporação de água no produto, pois não há sistema de medição de vazão na ETE.

Os subprodutos soro do leite e água de filagem, gerados nas etapas de dessoragem e filagem dos queijos, não são incorporados ao efluente por seu valor comercial e nutricional. O soro é encaminhado à uma empresa da região que o concentra e vende como um novo produto, já a água de filagem é distribuída entre os agricultores e destinada para alimentação animal.

O efluente oriundo dos processos industriais é então encaminhado à ETE que atualmente é composta pelos níveis Preliminar e Secundário, e suas respectivas unidades de tratamento são: gradeamento, seguida de um tanque de homogeneização, caixas de gordura e lagoas de estabilização como ilustra o fluxograma da Figura 3.

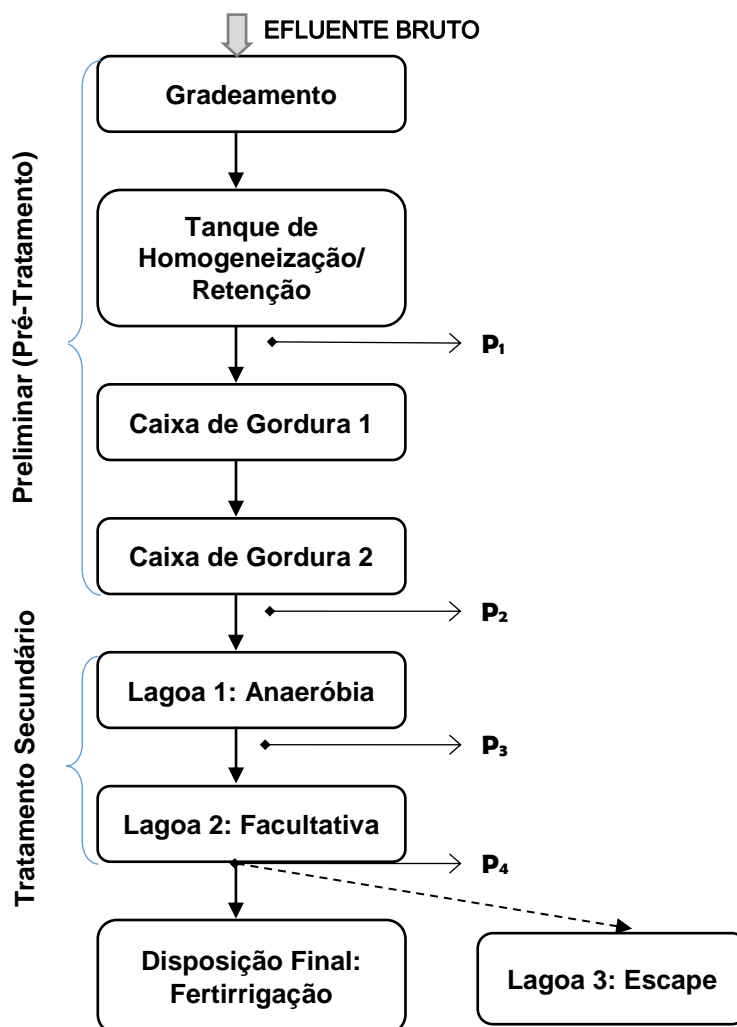


Figura 3 - Fluxograma do atual sistema de tratamento de efluentes e as unidades que o compõe, indicando também os pontos de amostragem. (P1, P2, P3 e P4)

Fonte: Autoria própria, 2016

No nível preliminar o efluente bruto passa pelo gradeamento em um tanque retangular com 2 (duas) grades finas em série contendo aproximadamente 46 barras, e dispositivos de entrada e saída opostos para remoção de sólidos grosseiros, como restos de embalagens plásticas e coágulos de queijo. Segue então para um tanque de homogeneização que funciona como caixa de gordura e 2 (duas) caixas de gordura retangulares em série com 2 (duas) e 5 (cinco) chicanas respectivamente.

Já o Nível secundário é composto por duas lagoas de estabilização, sendo a primeira Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano). Ao final do tratamento o efluente é encaminhado para fertirrigação de uma área de pastagem próxima e, quando necessário, o excedente é direcionado a uma terceira lagoa de menor dimensão (escape).



## 4.2 DIAGNÓSTICO DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO LATICÍNIO

Com o intuito de avaliar a eficiência em cada etapa do tratamento e no sistema como um todo, foram coletadas amostras de efluentes em quatro pontos/locais distintos (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub>). Os pontos/locais de coleta das amostras foram antes e após o tratamento preliminar (caixas de gordura), antes da primeira unidade do tratamento secundário (lagoa anaeróbia) e após a última unidade do tratamento secundário (lagoa facultativa), conforme a Tabela 5.

**Tabela 6 – Pontos de amostragem na ETE**

Ponto	Descrição	Local de amostragem
P <sub>1</sub>	Efluente bruto/ Afluente do Tratamento Preliminar	Saída do Tanque de Homogeneização/Entrada da Caixa de Gordura 1
P <sub>2</sub>	Efluente do Tratamento Preliminar/ Afluente da Lagoa Anaeróbia	Saída da Caixa de Gordura 2/ Entrada na Lagoa 1
P <sub>3</sub>	Efluente da Lagoa Anaeróbia/ Afluente da Lagoa Facultativa	Saída da Lagoa 1/ Entrada na Lagoa 2
P <sub>4</sub>	Efluente da Lagoa Facultativa (Efluente final)	Saída da Lagoa 2

**Fonte: A autoria própria, 2016**

As amostras foram coletadas e preservadas de acordo com a NBR 9898/1987 da ABNT e então encaminhadas para análise laboratorial. Avaliou-se cada amostra quanto aos parâmetros físico-químicos: pH, temperatura (T°C), óleos e graxas (OG), sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fósforo total (P-Total) e cloretos, os quais seguiram os protocolos e métodos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWA; WEF, 2012).

Na Tabela 6 são apresentados os parâmetros avaliados com suas respectivas unidades de medida e as metodologias utilizadas para tal. Realizada esta etapa, os valores foram compilados em uma tabela (Apêndice A) e analisados estatisticamente para proceder com a avaliação do sistema atual e a proposição de melhorias.

**Tabela 7 – Parâmetros físico-químicos analisados e respectivos métodos e protocolos utilizados na caracterização do efluente**

Parâmetro	Unidade	Método APHA; AWA; WEF (2012)
pH	-	4500 – H <sup>+</sup> B (Potenciométrico)
OG	mg.L <sup>-1</sup>	5520 D (Extração Soxhlet)
DBO	mg.L <sup>-1</sup>	5210 B (DBO 5 dias)
DQO	mg.L <sup>-1</sup>	5220 D (Colorimétrico)
ST	mg.L <sup>-1</sup>	2540 B (Gravimétrico)
SST	mg.L <sup>-1</sup>	2540 D (Gravimétrico)
SSed	mL.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	2540 F (Volumétrico)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	4500 – NH <sub>3</sub> F (Fenato)
P-total	mg.L <sup>-1</sup>	4500 – P E (Ácido Ascórbico)
Cloretos	mg.L <sup>-1</sup>	4500 Cl <sup>-</sup> B (Iodométrico)

Fonte: APHA; AWA; WEF, 2012.

Além disso foram feitas observações *in loco*, entrevistas com os responsáveis pelas áreas ambiental e operacional da unidade e disponibilizadas as dimensões do sistema de tratamento de efluentes, permitindo assim o diagnóstico dos possíveis problemas e o redimensionamento, quando necessário, de operações e/ou processos que o compõe, tendo como base os parâmetros e critérios estipulados pela literatura específica.

#### 4.3 AVALIAÇÃO, REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA

Os cálculos para avaliação do sistema de tratamento atual e redimensionamento do mesmo foram realizados com base num período de 6 meses, ou seja, a partir de 6 (seis) amostras para representar a produção e também levando em consideração os dados disponíveis. De acordo com os dados obtidos *in loco* e disponibilizados pela empresa foi possível encontrar a eficiência real de remoção dos poluentes em cada unidade de tratamento e no sistema como um todo (Apêndice B).

Também pode-se verificar se os parâmetros de projeto atuais, como tempo de detenção hidráulico (TDH), dimensões, taxas de aplicações entre outros, estavam dentro do recomendado pela literatura e como isso poderia interferir no desempenho do sistema de tratamento de acordo com as características do efluente.

Com base na avaliação, foram propostas melhorias nas unidades de tratamento, quando necessário, atendendo as necessidades da indústria e de acordo

com suas limitações financeiras, pois a unidade é arrendada e não há pretensão de ampliar a produção nem as instalações. Tanto para a avaliação quanto para o redimensionamento, seguiu-se as recomendações de Jordão e Pessôa (1995) para o gradeamento, de Camarotta (2011) para o dispositivo de medição de vazão, de Nunes (2012) para as caixas de gordura e Von Sperling (1996) para as lagoas de estabilização (Apêndice C).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO




Esta sessão apresenta os resultados obtidos com o estudo e a discussão pertinente para cada tópico abordado. Foi dividida em diagnóstico, avaliação, redimensionamento e propostas de melhoria.

### 5.1 DIAGNÓSTICO DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO LATICÍNIO

A Tabela 6 traz as dimensões, as imagens e uma breve descrição de cada unidade que compõe o sistema de tratamento de efluentes, organizada na sequência do tratamento de acordo com os dados obtidos *in loco* e fornecidos pela empresa.

**Tabela 8 – Dimensões e descrição das unidades que compõe o sistema de tratamento de efluentes do laticínio**

(continua)

Unidade de tratamento	Dimensões	Descrição	Imagem
Gradeamento	1,7 x 0,8 x 0,5 (líquido) Volume Útil: 0,68 m <sup>3</sup>	Tratamento Preliminar  Gradeamento	
Tanque de Homogeneização	1,9 x 1,9 x 0,5 (líquido) Volume útil: 1,8 m <sup>3</sup>	Tratamento Preliminar  Funciona como caixa de gordura.	
Caixa de Gordura 1	3,0 x 1,4 x 1,8 (líquido) Volume útil: 7,56 m <sup>3</sup>	Tratamento Preliminar  Caixa de gordura com grade de proteção externa e duas chicanas	

**Tabela 7 – Dimensões e descrição das unidades que compõe o sistema de tratamento de efluentes do laticínio**

(conclusão)			
Unidade de tratamento	Dimensões	Descrição	Imagem
Caixa de Gordura 2	5,6 x 1,4 x 1,35 (líquido) Volume útil: 10,58 m <sup>3</sup>	Tratamento Preliminar  Caixa de gordura sem grade de proteção externa e 5 chicanas	
Lagoa 1: Anaeróbia	50 x 46,5 x 2,0 Volume útil: 4650 m <sup>3</sup>	Tratamento Secundário	
Lagoa 2: Facultativa	85 x 50 x 1,68 Volume útil: 7.140 m <sup>3</sup>	Tratamento Secundário	
Lagoa 3: Facultativa (desativada)	ND*	Tratamento Secundário  Lagoa de escape quando necessário	

**Fonte: Autoria própria, 2016**

\*ND: Não Disponível

A primeira unidade do tratamento, gradeamento, consiste em um tanque retangular cujo volume útil é de 0,68 m<sup>3</sup> e a limpeza é feita manualmente com o auxílio de uma pá coletora. Como é possível observar na Figura 4, as grades não apresentam um padrão de espaçamento e com isso permitem a passagem de sólidos grosseiros para as demais etapas do tratamento, podendo causar obstrução dos dispositivos de entrada e saída e/ou deposição de sólidos. Retidos nas grades são encontrados, por exemplo, coágulos de queijos e resíduos de embalagens.

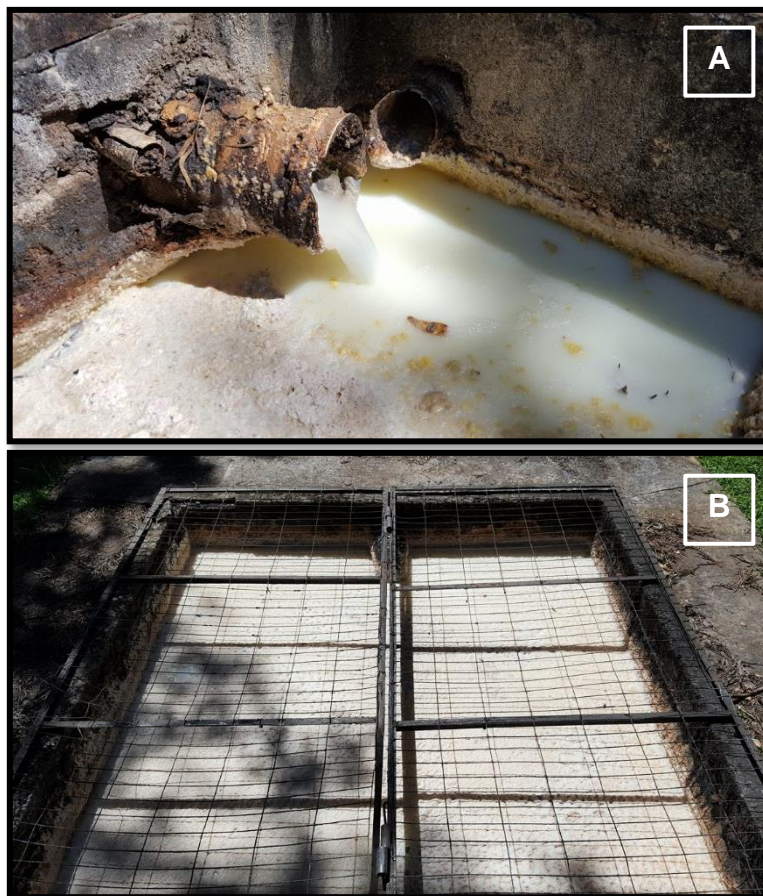


**Figura 4 – Tratamento Preliminar – Gradeamento**  
**Fonte: Autoria própria, 2016**

Visualmente, o efluente bruto apresenta um aspecto leitoso, de cor branca, e sem características aparentes de utilização de detergentes ou produtos de limpeza em excesso, devido a não presença de espumas. Após o gradeamento, o efluente é direcionado para um tanque de homogeneização quadrado, com grades de proteção e camada de líquido de 0,5 m, segundo dados fornecidos pela empresa. Este tanque não é uma caixa de gordura, mas funciona como uma, pois ali flutam óleos e graxas por gravidade (Figuras 5).

Já as caixas de gordura 1 e 2 têm volumes de 7,56 m<sup>3</sup> e 10,58 m<sup>3</sup> respectivamente (Figura 6). O tempo de retenção hidráulico (TDH) na primeira caixa, para a vazão máxima de 4,706 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, é de aproximadamente 1 hora 36 minutos enquanto na segunda caixa o efluente demora cerca de 2 horas e 15 minutos para atravessar toda sua extensão, conforme demonstrado no Apêndice B.

Não há um dispositivo de medição de vazão no local, portanto a vazão de efluente que entra no sistema é estimada pelo consumo de água nos processos e industrialização e limpeza.



**Figura 5 – Tratamento Preliminar: A – Detalhe do efluente bruto na entrada do gradeamento; B – Tanque de homogeneização**  
Fonte: Autoria própria, 2016



**Figura 6 – Tratamento Preliminar: Caixas de Gordura 1 (com grade de proteção) e 2 (sem grade de proteção)**  
Fonte: Autoria própria, 2016

As lagoas de estabilização ficam afastadas dos limites da indústria, aproximadamente 2 km, próximas a uma estrada rural. Visualmente, a lagoa anaeróbia possui uma grossa camada de espuma (camada de sólidos, óleos e graxas), canos expostos e não possui borda livre como mostra a Figura 7. O TDH nessa lagoa é de 58 dias e seu volume é 4.650 m<sup>3</sup>, enquanto na lagoa facultativa o volume é de 7.140 m<sup>3</sup> e o efluente permanece retido por 90 dias.



**Figura 7 – Tratamento Secundário: A – Lagoa Anaeróbia;  
B – Lagoa Facultativa**  
Fonte: Autoria própria, 2016

Ao final do tratamento, uma área de pastagem próxima é fertirrigada com o efluente e o excedente é direcionado para uma terceira lagoa, que serve de escape em períodos com elevado índice de precipitação pluviométrica. (Figura 8).





**Figura 8 – Disposição Final: A – Lagoa de escape ou contensão;  
B – Área de pastagem (fertirrigação)**  
Fonte: Autoria própria, 2016

### 5.1.1 Caracterização Físico-Química do Efluente

Os resultados das análises de auto-monitoramento foram compilados em uma única tabela disponibilizada no Apêndice A, totalizando 16 (dezesesseis) coletas para cada um dos 4 (quatro) pontos de amostragem. Para caracterização do efluente bruto (P<sub>1</sub>) e demais pontos de amostragem (P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub>), visando a avaliação e redimensionamento do sistema de tratamento aplicado ao efluente gerado pela indústria de laticínios, foram considerados os resultados obtidos a partir de 6 amostras (Tabelas 8 e 9). Pode-se observar na Tabela 8 que alguns parâmetros apresentam intervalos de variação bem amplos como pH, OG, DBO e DQO. De acordo Shete e Shinkar (2013), a geração de efluente nos laticínios ocorre geralmente de maneira intermitente, e sua vazão, volume, concentração e composição variam

significativamente. Segundo Costa (2011), estes efluentes apresentam grandes variações no pH, devido à presença de residuais de soluções ácidas e alcalinas, provenientes das operações de limpeza. O efluente tem tendência para acidificar devido à formação de ácido láctico através de fermentação láctea e ao uso de ácido na limpeza;

**Tabela 9 – Resultados das análises físico-químicas do efluente bruto**

Parâmetro (unidade)	Intervalo	$\bar{x} \pm \sigma$
pH	4,88 - 10,71	7,85 $\pm$ 3,00
T (°C)	17,90 - 28,20	25,58 $\pm$ 1,14
OG (mg.L <sup>-1</sup> )	352,00 - 39.780,00	4.791,68 $\pm$ 4.910,47
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	5.600,00 - 61.000,00	17.987,38 $\pm$ 15.057,73
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	3.793,00 - 61.000,00	13.008,47 $\pm$ 901,32
Ssed.(mL.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,10 - 1,00	0,55 $\pm$ 0,64
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	2.680,00 - 2.680,00	2.680,00*
P-total (mg.L <sup>-1</sup> )	32,00 - 105,00	65,00 $\pm$ 37,00
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	5,00 - 11,20	7,07 $\pm$ 3,58
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	360,30 - 879,00	622,65 $\pm$ 221,00

$\bar{x} \pm \sigma$  (Média  $\pm$  Desvio Padrão)

\*valor único

**Tabela 10 – Resultados das análises físico-químicas nos quatro pontos de amostragem**

Parâmetro (unidade)	P <sub>1</sub> **	P <sub>2</sub> *	P <sub>3</sub> *	P <sub>4</sub> ***
pH	7,85 $\pm$ 3,00	5,38 $\pm$ 0,37	5,68 $\pm$ 0,49	6,930 $\pm$ 0,15
T (°C)	25,58 $\pm$ 1,14	25,20 <sup>1</sup>	-	25,1 $\pm$ 1,244
OG (mg.L <sup>-1</sup> )	4.791,68 $\pm$ 4.910,47	1.528,00 $\pm$ 134,35	-	29,4 $\pm$ 21,69
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	17.987,38 $\pm$ 15.057,73	4.310,17 $\pm$ 1.105,77	-	134,82 $\pm$ 53,93
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	20.837,63 $\pm$ 18.145,38	6.070,11 $\pm$ 1.557,42	1.443 $\pm$ 372,93	489 $\pm$ 77,18
SSed (mL.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	0,55 $\pm$ 0,64	0,10 <sup>1</sup>	-	0,22 $\pm$ 0,16
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	2.680 <sup>1</sup>	1.180,00 <sup>1</sup>	-	290,00 $\pm$ 238,14
P-total (mg.L <sup>-1</sup> )	65,00 $\pm$ 37,00	20,00 <sup>1</sup>	-	27,75 $\pm$ 9,54
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	7,07 $\pm$ 3,58	4,90 <sup>1</sup>	-	22,02 $\pm$ 15,87
Cloretos (mg.L <sup>-1</sup> )	622,65 $\pm$ 221,00	822,00 <sup>1</sup>	-	452,86 $\pm$ 68,08

$\bar{x} \pm \sigma$  (Média  $\pm$  Desvio Padrão)

<sup>1</sup>valor único

\* média aritmética obtida a partir de 6 (seis) amostras

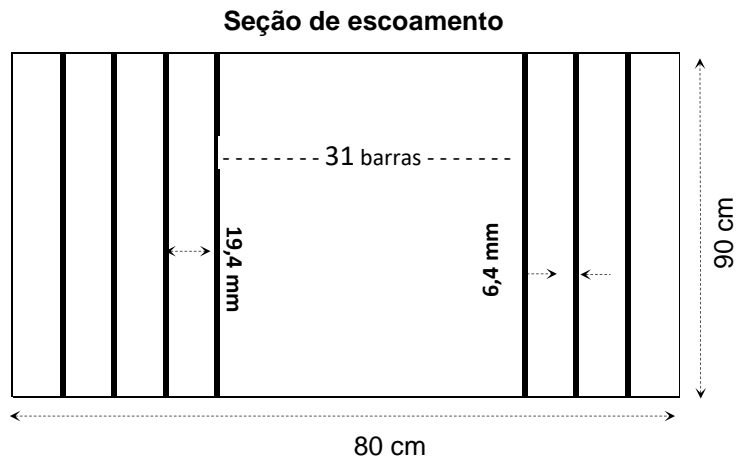
\*\*média aritmética obtida a partir de 6 (seis) amostras exceto para OG, DBO, SSed, SST, P-total, N-NH<sub>4</sub> e cloretos.

\*\*\*média aritmética obtida a partir de 6 (seis) amostras exceto para cloretos.

## 5.2 AVALIAÇÃO, REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA

### 5.2.1 Tratamento Preliminar

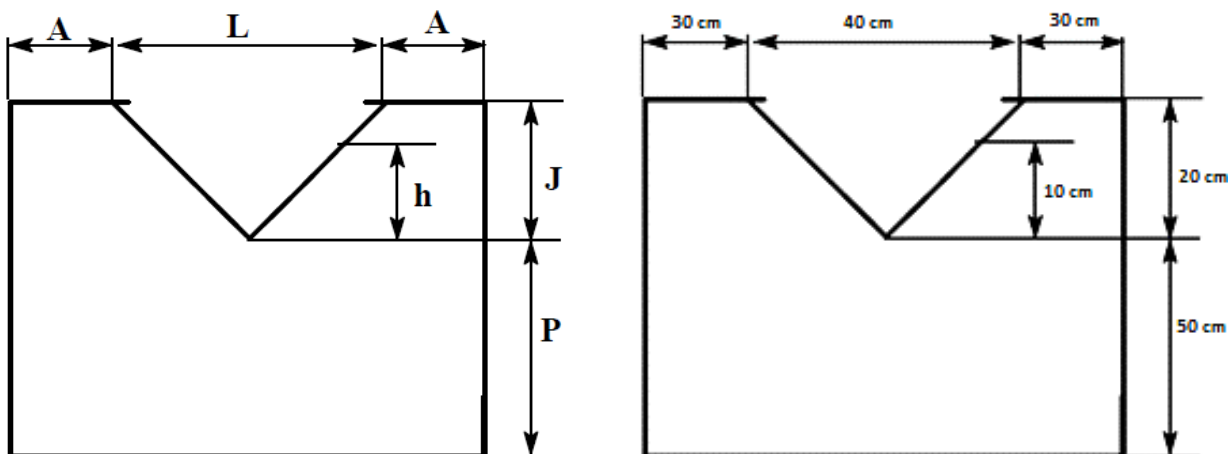
Observou-se já no início do sistema de tratamento, na etapa do gradeamento, que as grades não estão dispostas de maneira adequada, como estipulado pela ABNT NBR 12.209:2011 e valores recomendados pela literatura. Neste caso, propõe-se adequar o espaçamento entre barras e utilizar grades finas ( $\frac{1}{4}'' \times \frac{3}{4}''$ ), ou seja, grades com espessura de 0,64 cm e espaçamento entre barras de 1,94 cm. Com isso o número de barras requerido será de 31 barras, de acordo com a seção de escoamento existente que tem base de 80 cm (Figura 9). Considerando a vazão máxima atual de  $0,00131 \text{ m}^3/\text{s}$ , de acordo com o dimensionamento proposto por Jordão e Pessoa (1995), o número de barras requerido seria bem inferior.



**Figura 9 – Esquema espaçamento e número de barras proposto no gradeamento**  
**Fonte: Autoria própria, 2016**

No local não há nenhum medidor de vazão, portanto recomenda-se a implantação de um medidor de vazão segundo a ABNT NBR 13.403:1995 do tipo vertedor triangular para o controle da vazão de entrada do efluente no sistema de tratamento, tal como o esboçado da Figura 10, com as seguintes dimensões:  $h = 10 \text{ cm}$ ,  $J = 20 \text{ cm}$ ,  $A = 30 \text{ cm}$ ,  $L = 40 \text{ cm}$  e  $P = 50 \text{ cm}$ . Esse tipo de medidor é utilizado

para vazões menores que  $5 \text{ l.s}^{-1}$  ou  $3,6 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ , e suas principais vantagens são o baixo custo de implantação, pouca ou nenhuma manutenção, simples operação e medição instantânea da vazão (ABNT, 1995).



**Figura 10 – Esquema do vertedor triangular proposto**  
 Fonte: Adaptado de CAMAROTTA, 2011.

Na sequência do tratamento há 3 (três) tanques onde ocorre a flotação de OG. O primeiro, chamado 'tanque de homogeneização', funciona como caixa de gordura retendo OG embora não tenha sido dimensionado para tal. Os demais tanques são duas caixas de gordura que, atualmente, para as condições de operação da indústria estão superdimensionadas, como demonstrado o Apêndice B.

Nunes (2012) recomenda que o tempo de detenção hidráulico (TDH) seja de até 30 minutos com taxa de aplicação entre  $1,2$  e  $2,4 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  em cada caixa. As caixas de gordura 1 e 2 estão retendo o efluente por 1 hora e 36 minutos e 2 horas e 15 minutos respectivamente, tempo 3 a 4 vezes maior que o recomendado pela literatura. Um elevado TDH pode implicar em maior deposição de sólidos e matéria orgânica e ocasionar a geração de maus odores. De acordo com a caracterização físico-química do efluente, não foram encontrados valores significativos de SSed, contudo o valor de sólidos suspenso é elevado e, portanto, há riscos de deposição de sólidos no fundo do tanque diminuindo assim o seu volume útil. Quanto aos maus odores, estes não foram verificados *in loco*.

Como visto anteriormente, a avaliação da eficiência de remoção de OG é feita de maneira conjunta coletando-se uma amostra na entrada da primeira caixa e na saída da segunda. Assim, obteve-se uma eficiência de aproximadamente 85%, porém Nunes (2012) afirma cada caixa pode chegar a remover até 60% de OG dependendo

também das condições operacionais como pH, temperatura e uso excessivo de detergentes nas etapas de limpeza da indústria. Para sua manutenção devem ser evitadas as seguintes condições: temperatura na entrada da caixa superior a 35°C; pH acima de 8,5; onde ocorre saponificação ou emulsificação; e excesso de detergentes, que prejudicam a eficiência de separação pela formação de gotículas de menor tamanho, com menor velocidade ascensional (NUNES, 2012).

### 5.2.2 Tratamento Secundário

Considerando os resultados obtidos nas análises de DQO no período de 6 (seis) meses, a eficiência mínima obtida na Lagoa 1 (anaeróbia) foi de 53,60%, e a máxima atingiu 87,82%. Neste parâmetro, a concentração média obtida para o efluente deste reator foi de 1.501,03 mg.L<sup>-1</sup>. Para a Lagoa 2 (facultativa) a eficiência mínima na remoção de matéria orgânica, com base dos valores de DQO foi equivalente a 19,02% e a eficiência máxima chegou a 72,36%; a média neste parâmetro apresentou valor equivalente a 583,55 mg.L<sup>-1</sup>.

Resultados semelhantes (33,33% e 67% de remoção mínima e máxima de DQO respectivamente e concentração média de 1.027,44 mg.L<sup>-1</sup>) foram encontrados por Caldereiro et al. (2015) para lagoa facultativa em um laticínio de médio porte, com vazão de efluente de 300m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>. Para os resultados de DBO não foi possível avaliar cada reator devido à falta destes dados do parâmetro no período estudado.

Para o redimensionamento da Lagoa 1: Anaeróbia, foi calculada a relação DBO/DQO para a amostra 14 (quatorze) por ser esta a única amostra que continha o valor da DBO no ponto P<sub>2</sub>. Feito isso, a partir de 6 (seis) amostras que apresentaram menor variação nos resultados da DQO, coletadas em períodos distintos no ponto P<sub>2</sub>, foi calculada a média aritmética e o desvio padrão.

Calculando a relação DBO/DQO no ponto P<sub>2</sub>, entrada do tratamento biológico, obteve-se o valor de 0,71, maior que 0,6, indicando que o efluente é passível de degradação pela ação de microrganismos. Metcalf & Eddy (2016) indicam que quanto mais próximo de 1, maior a biodegradabilidade do despejo. Para efluentes agroindustriais esta relação fica em torno de 1. Minas Ambiente/CETEC (2000) obtiveram valores que variavam entre 0,59 e 0,93 para esta mesma relação em 4

(quatro) diferentes indústrias de laticínios. Machado et al. (2002) encontraram resultados semelhantes em diversos laticínios no estado de Minas Gerais, entre 0,5 e 0,7, e afirmam que valores muito fora desta faixa caracterizam despejos com elevados teores de amônia e/ou compostos tóxicos. O ideal seria refazer de tempos em tempos o mesmo cálculo para saber se a relação se mantém constante.

## 6 CONCLUSÃO

Ao efetuar o diagnóstico do sistema de tratamento de efluentes do laticínio, em termos de parâmetros físico-químicos, verificou-se que os resultados da caracterização se mantiveram dentro dos padrões encontrados na literatura para indústrias desta natureza, variando consideravelmente diversos parâmetros como ph, SST, DQO e DBO. Isso foi constatado ao analisar o efluente bruto, o afluente e o efluente de cada unidade, operação ou processo que o compõem.

Por meio de dados disponibilizados pela empresa, como vazão e dimensões das unidades de tratamento que compõe o sistema, e observações *in loco* foi possível constatar que as barras do gradeamento encontram-se muito espaçadas e calcular as eficiências de remoção de poluentes, tempos de retenção hidráulicos, taxas de aplicação, etc que foram: TDH = 1 hora e 36 minutos e 2 horas e 15 minutos para as caixas de gordura 1 e 2, com taxas de aplicação elevadas ( $1,120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  respectivamente); TDH = 58 horas para a lagoa anaeróbia com remoção de matéria orgânica mínima de 53,60% e máxima 87,82% e TDH = 90 dias para a lagoa facultativa com eficiência de remoção de matéria orgânica mínima de 19,02% e máxima de 72,36%.

Com base nos parâmetros de projeto e critérios estipulados pela literatura, pode-se redimensionar as unidades de tratamento e propor melhorias no sistema, quando necessário, visando principalmente a remoção da matéria orgânica. Algumas propostas foram: Implantação de um medidor de vazão do tipo vertedor triangular para pequenas vazões, readequação da espessura, espaçamento e número de barras no gradeamento, aprofundar a lagoa anaeróbia e reavaliar as suas dimensões para melhorar as eficiências de remoção.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.209, de 24 de dezembro de 2011. Elaboração de Projetos Hidráulico-sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2011. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/documentos-e-publicacoes/outros-sites/122092011Elaboraodeprojetoshidraulicossanitriosdeestaesdetratamentodeesgotossanitrios.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 13.403, de 07 de 31 de julho de 1995. Medição de Vazão em Efluentes Líquidos e Corpos Receptores - Escoamento Livre. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 8160, de 01 de novembro de 1999. Substitui a NBR 8160:1983. Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário - Projeto e Execução. Rio de Janeiro, RJ, 1999. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-8.160-Sistemas-Prediais-de-Esgoto-Sanitário-Projeto-e-Execução.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 9.898, de junho de 1987. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. Rio de Janeiro, RJ, 1987. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

ANDRADE, Laura H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ANZECC – AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND ENVIRONMENT AND CONSERVATION COUNCIL; ARMCANZ – AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT COUNCIL OF AUSTRALIA AND NEW ZEALAND. **Effluent management guidelines for dairy processing in Australia**. National Water Quality Management Strategy. Jun.1999. Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/system/files/resources/9c8bc1b7-d21c-434a-a9c8-1a0ec3c32848/files/dairy-sheds-australia-paper16a.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.



BAPTISTA, Joseli R. V.; SUGAMOSTO, Marisa; WAVRUK, Paulo. **Caracterização da indústria de processamento e transformação do leite no Paraná**. 2010. Disponível em: <[http://www.ipardes.gov.br/pdf/caracterizacao\\_industria\\_leite.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/caracterizacao_industria_leite.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2016.

BRAILE, Pedro Marcio; CAVALCANTI, José E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Cetesb, 1993. 764 p.

CAMMAROTA, Magali C. Notas de aula: Tratamento de Efluentes Líquidos. Rio de Janeiro: Escola de Química, 2011. 72 f. Disponível em: <<http://www.eq.ufrj.br/docentes/magalicammarota/2013/eqb485.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

CAVALCANTI, José E.W.A. Manual de tratamento de efluentes industriais. 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2012.

CEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CEMA 70/2009 - Anexo 7**. Estabelece Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais. 2009. Disponível em: <[www.iap.com.br](http://www.iap.com.br)>. Acesso em 13 nov.2016.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Complementa e Altera A Resolução Nº 357/2005. [Brasília] 9 p. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

COSTA, Djamila C. Caracterização e tratamento de efluentes resultantes da actividade de produção de queijo. 2011. 226 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <[https://run.unl.pt/bitstream/10362/5661/1/Costa\\_2011.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/5661/1/Costa_2011.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.

DACACH, N. G. **Tratamento Primário de Esgoto**. Rio de Janeiro: EDC – Editora Didática e Científica 1991.

ECKENFELDER JR, William W. **Industrial Water Pollution Control**. 3.ed, EUA: McGraw-Hill. 584 p. 2000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa em Números**. Embrapa, Secretaria de Comunicação, Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/embrapa-em-numeros>>. Acesso em: 19 abr. 2016. 138 p.

ENVIRONMENT PROTECTION AUTHORITY - EPA. Environmental guidelines for the dairy processing industry. Melbourne: Epa Publication, 1997. 33 p. Disponível em: <<http://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/570.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE; FIEMG - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Guia técnico ambiental da indústria de laticínios. [S.l.]: Engenho 9, 2014. 37 p. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_laticinios.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2016.

HENARES, Juliana F. Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento. 2015. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento Acadêmico 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](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4899/1/CM_COEAL_2015_1_06.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal** – Pesquisa da Pecuária Municipal, v.42, 2014. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/cadeia-do-leite/giro-lacteo/ibge-producao-de-leite-cresceu-27-em-2014-sul-tornouse-a-maior-regiao-produtora-97326n.aspx>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

IMHOFF, Klaus R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 301 p.1996.

JUNQUEIRA, Waina Bella de Castro. Desempenho de caixa de gordura empregada no tratamento preliminar dos efluentes de restaurante universitário. 2014. 219 f. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2242/1/TESE\\_Desempenho de caixa gordura empregada no tratamento.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2242/1/TESE_Desempenho%20de%20caixa%20gordura%20empregada%20no%20tratamento.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.  
LEME, Edson José A.. Manual prático de tratamento de águas residuárias. 2. ed. São Carlos: Edufscar, 2014. 599 p.

MACHADO, Rosângela M. G.; FREIRE, Valdir H.; SILVA, Patrícia Cristina da.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. **Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios**. 1 ed. Belo Horizonte: Segrac, 2002, 223 p.

\_\_\_\_\_. Alternativas tecnológicas para o controle ambiental em pequenas e médias indústrias de laticínios. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-025.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

MAGANHA, Martha F. B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos – **Série P+L**. São Paulo: CETESB. 2006. 95p. Disponível em: <[www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4276](http://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4276)>. Acesso em: 12 maio 2016.

MANCUSO, Pedro C.S; SANTOS dos, Hilton F. **Reuso de Água**. São Paulo: Manole, 2003.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5. ed. Nova Iorque: Mcgraw-hill, 2016. 2008 p. Tradução de: Ivanildo Hespanhol e José Carlos Mierzwa.

MINAS AMBIENTE/CETEC. **Pesquisa tecnológica para controle ambiental em pequenos e médios laticínios de Minas Gerais: Medidas de gestão e controle ambiental**. Belo Horizonte, 2000. 151p. (Relatório Técnico)

NUNES, José A. **Tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 277 p. 2012.

\_\_\_\_\_. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. Editora ABES, 315p. 2012.

PRAZERES, Ana R.; RIVAS, Javier; ALMEIDA, Maria A.; PATANITA, Manuel; DÔRES, José; CARVALHO, Fátima. Agricultural reuse of cheese whey wastewater treated by NaOH precipitation for tomato production under several saline conditions and sludge management. **Agricultural Water Management**, Elsevier, v.167, p.62-74. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415301967>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

ROCHA Alda do A. Consumo de lácteos deve cair 4% este ano. **Valor Econômico**, São Paulo, 18 abr. 2016. Agronegócios – Mercado, p. B12. Disponível em:

<<http://www.valor.com.br/agro/4527721/consumo-de-lacteos-deve-cair-4-este-ano>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

SHETE, Bharati S.; SHINKAR, Narendra P. Dairy Industry Wastewater Sources, Characteristics & its Effects on Environment. Inpressco: International Journal of Current Engineering and Technology. Maharashtra - India, p. 1611-1615. v.3, n.5. 2013. Disponível em: <<http://inpressco.com/wp-content/uploads/2013/11/Paper31611-1615.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SILVA, D. J. P. Gestão ambiental em uma indústria de produtos lácteos. **Revista Leite e Derivados**. Ano XV. n. 94, p. 52-63, Set/Out. 2006.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Dairy: World Markets and Trade**. Foreign Agricultural Service. Dez. 2015. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/dairy-market/dairy-market-12-17-2015.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2016.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: DESA – UFMG, v.1, 172 p. 1996.

\_\_\_\_\_. **Lagoas de Estabilização**. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: DESA – UFMG. v.3, 140 p. 1996.

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Volume 1, 3ª Edição. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

## APÊNDICE A – PLANILHA DE AUTO-MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

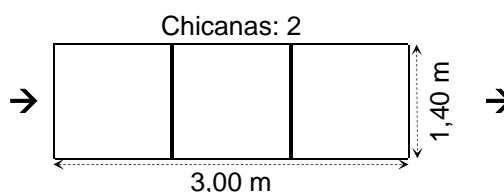
		DADOS DE MONITORAMENTO FÍSICO-QUÍMICO- UFCP Capanema																
PARÂMETRO	UNIDADE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
P1	pH	pH	11,07	9,04	8,78	8,1225	7,57	10,71	7,94	5,25	5,72	6,83	7,39	6,9	4,89	6,34	4,88	7,28
	Temperatura	°C	28,1	26,1	24,9		22,3	18	17,9	24,8	28,2	24,1	22	23,8	28,1	23,5	26,8	26,8
	OG	mg/L		1448,4							2193				11551		8414	352
	DBO	mg/L		5600							6390,3		10666,6		39780		27500	
	DQO	mg/L	5,6	12051	9408		11385	13760	13714,4	27104	12300	61000	13995,4	5638	53768	12230	41580	3793
	Ssed.	mL/L.h													1			0,1
	SST	mg/L														2680		
	Ptotal	mg/L									58					105		32
	N-NH <sub>4</sub>	mg/L									4,9					11,2		4,9
	Cloretos	ppm									360,3				879	548,3	703	
P2	pH	pH	4,66	5,23	5,3	5,5025	6	10,4	10,22	4,42		4,32		5,06	5,18	4,08		
	Temperatura	°C															25,2	
	OG	mg/L												1623		1433		
	DBO	mg/L													2014,5			
	DQO	mg/L	2,4	4000	7840		5488	6080	3680	5096		7,5			7920	2822	10976	0,1
	Ssed.	mL/L.h																
	SST	mg/L														1180		
	Ptotal	mg/L														20		
	N-NH <sub>4</sub>	mg/L														4,9		
	Cloretos	ppm														822		
P3	pH	pH	4,95	5,23	5,12		6,06	6,46	5,38	5,26		5,71	5,24	7				
	Temperatura	°C																
	OG	mg/L																
	DBO	mg/L																
	DQO	mg/L	960	1856	955		1098	1856	1413,1	2195,2		1475	558	670,4				
	Ssed.	mL/L.h																
	SST	mg/L																
	Ptotal	mg/L																
	N-NH <sub>4</sub>	mg/L																
	Cloretos	ppm																
P4	pH	pH	6,94	7,13	6,82		7,28	7,07			6,76	6,83	8,53	7,43	7,18			
	Temperatura	°C	23,95	26,5	25,6		22,3	18,2			24,2	23,1	23,9	26,5				
	OG	mg/L	92,4	12,4	71,6		22	1,6				306	25,6	30	14,8			
	DBO	mg/L	205,55	170	142,1		118,2	130,4			170	195	121,2	127	541			
	DQO	mg/L	293	513	485,4		455,4	547,1			575	748	357,5	709	847			
	Ssed.	mL/L.h	0,1	0,5	1		0,2	0,3			1	9	0,1	0,1				
	SST	mg/L		238				34			230		88	510	640			
	Ptotal	mg/L		23,5				27			36		13	27	40			
	N-NH <sub>4</sub>	mg/L		17				22			19,1		10	11	53			
	Cloretos	ppm		380			394					471		471	548,3			

## APÊNDICE B – DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE POLUENTES

### TRATAMENTO PRELIMINAR

→ Caixa de Gordura 1:

Comprimento útil (C): 3,00 m  
 Largura útil (L): 1,40 m  
 Altura útil (h): 1,80 m  
 Vazão (Q): 80 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>  
 Funcionamento: 17 h



Área (m<sup>2</sup>):

$$A = C \times L$$

$$A = 3,00 \times 1,40$$

$$A = 4,2 \text{ m}^2$$

Volume (m<sup>3</sup>):

$$V = A \times h$$

$$V = 4,2 \times 1,80$$

$$V = 7,56 \cong 7,6 \text{ m}^3$$

Vazões (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>):

$$Q_{méd(24h)} = \frac{80}{24}$$

$$Q_{méd(24h)} = 3,33 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_{máx(17h)} = \frac{80}{17}$$

$$Q_{máx(17h)} = 4,706 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Taxa de aplicação (m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>):

$$ta = \frac{Q_{máx}}{A}$$

$$ta = \frac{4,706}{4,2}$$

$$ta = 1,120 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

Tempo detenção hidráulico (h):

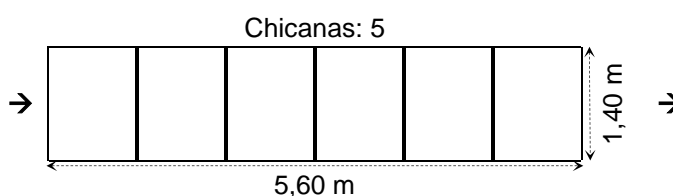
$$TDH = \frac{V}{Q_{máx}}$$

$$TDH = \frac{7,6}{4,706}$$

$$TDH = 1,6 \text{ h} \cong 1 \text{ h } 37 \text{ min}$$

→ Caixa de Gordura 2:

Comprimento útil (C): 5,60 m  
 Largura útil (L): 1,40 m  
 Altura útil (h): 1,35 m  
 Vazão (Q): 80 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>  
 Funcionamento: 17 h



Área (m<sup>2</sup>):

$$A = C \times L$$

$$A = 5,60 \times 1,40$$

$$A = 7,84 \text{ m}^2$$

Volume (m<sup>3</sup>):

$$V = A \times h$$

$$V = 7,84 \times 1,35$$

$$V = 10,58 \cong 10,6 \text{ m}^3$$

Vazões (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>):

$$Q_{méd(24h)} = \frac{80}{24}$$

$$Q_{méd(24h)} = 3,33 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_{máx(17h)} = \frac{80}{17}$$

$$Q_{máx(17h)} = 4,706 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Taxa de aplicação (m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>):

$$ta = \frac{Q_{máx}}{A}$$

$$ta = \frac{4,706}{7,56}$$

$$ta = 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

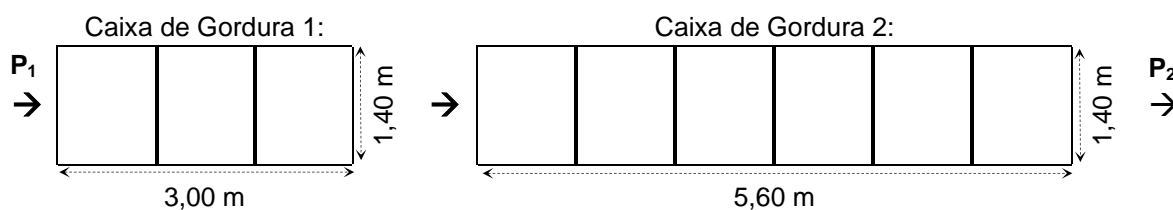
Tempo detenção hidráulico (h):

$$TDH = \frac{V}{Q_{máx}}$$

$$TDH = \frac{10,6}{4,706}$$

$$TDH = 2,25 \text{ h} \cong 2 \text{ h } 15 \text{ min}$$

→ Eficiência de remoção de Óleos e Graxas:



Dados:

Eficiência de remoção prática na avaliação conjunta (%):

Amostra (13)

$$P_1 = 11.551 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$P_2 = 1.623 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$E(\%) = \frac{(11.551 - 1.623)}{11.551} \times 100$$

$$E(\%) = 85,95 \cong \mathbf{86\%}$$

Amostra (15)

$$P_1 = 8.414 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$P_2 = 1.433 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$E(\%) = \frac{(8.414 - 1.433)}{8.414} \times 100$$

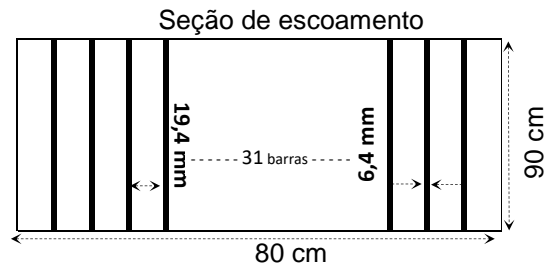
$$E(\%) = 82,97 \cong \mathbf{83\%}$$

## APÊNDICE C – REDIMENSIONAMENTO E PROPOSTAS DE MELHORIA

### TRATAMENTOS PRELIMINAR E PRIMÁRIO

#### → Gradeamento

Comprimento útil (C): 1,70 m  
 Largura útil (L): 0,80 m  
 Altura útil (h): 0,50 m  
 Altura total (H): 0,90 m  
 Vazão (Q): 80 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>



Espessura das Barras (t)	Eficiência: Valores de "E"	
	a = 3/4" (1,94 cm)	a = 1" (2,54cm)
1/4" (0,64 cm)	<b>0,750</b>	0,800
5/16" (0,8 cm)	0,730	0,768
3/8" (1 cm)	0,667	0,728

a = espaçamento entre barras

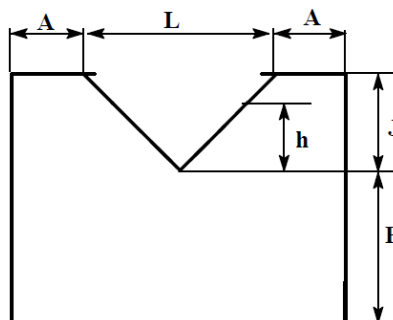
Número de barras:

$$n = \frac{L}{a + t}$$

$$n = \frac{80}{1,94 + 0,64}$$

$$n = 31 \text{ barras}$$

#### → Medidor de Vazão





Dados:

Vazão (Q):  $0,00131 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$Q = 1,4 \times H^{5/2}$$

$$H^{5/2} = \frac{0,00131}{1,4}$$

$$H = 0,061 \text{ m} \cong \mathbf{10 \text{ cm}^*}$$

\* Arredondar H para o valor logo acima do calculado e adotar demais parâmetros (J, L, P, A).

$$H = 10 \text{ cm}$$

$$J = 20 \text{ cm}$$

$$L = 40 \text{ cm}$$

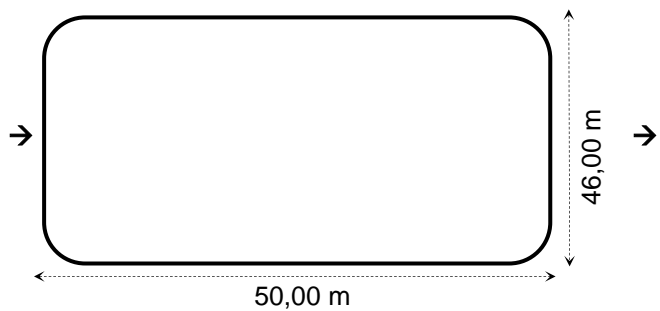
$$P = 50 \text{ cm}$$

$$A = 30 \text{ cm}$$

## TRATAMENTO SECUNDÁRIO

→ Lagoa 1: Anaeróbia

Comprimento útil (C): 50,00 m  
 Largura útil (L): 46,00 m  
 Altura útil (h): 2,00 m  
 Vazão (Q):  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$   
 Temperatura média (T):  $20^\circ\text{C}$



Adotar pela literatura (VON SPERLING, 1996):

Taxa de aplicação volumétrica (Lv):

$$Lv = 0,2 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$$

para  $T = 20^\circ\text{C}$

$$h = 3,00 \text{ m}$$

$$C/L = 1,1 \therefore C = 1,1 L$$

Dados:

Amostra (14) em P<sub>2</sub>:

$$DBO = 2.014,5 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$DQO = 2.822 \text{ mg.L}^{-1}$$

Relação DBO/DQO (%):

Volume (m<sup>3</sup>):

Tempo de detenção prático (d):

$$\frac{DBO}{DQO} = \frac{2.014,5}{2.822}$$

$$V = 50 \times 46 \times 2$$

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

$$V = 4.600 \text{ m}^3$$

$$\frac{DBO}{DQO} = \mathbf{0,71}$$

$$TDH = \frac{4600}{80}$$

$$TDH = 57,5 \cong 58 \text{ dias}$$

Concentração média de DBO no ponto P<sub>2</sub> a partir da Relação DBO/DQO:

Dados:

$$(2)DQO = 4.000 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$(3)DQO = 7.840 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$(5)DQO = 5.488 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$(6)DQO = 6.080 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$(8)DQO = 5.096 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$(13)DQO = 7.920 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$DQO_{Média} = \frac{(4.000 + 7.840 + 5.488 + 6.080 + 5.096 + 7.920)}{6}$$

$$DQO_{Média} = 6.070 \text{ mg.L}^{-1}$$

$$DBO_{Média} = 0,71 \times DQO_{Média}$$

$$\mathbf{DBO_{Média} = 4.310 \text{ mg.L}^{-1}}$$

$$\mathbf{DBO_{Média} = 4,310 \text{ kg.m}^{-3}}$$

Carga (kg.d<sup>-1</sup>):

Volume (m<sup>3</sup>):

Tempo de detenção teórico (d):

$$L = Conc \times Q$$

$$V = \frac{L}{Lv}$$

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

$$L = 4,310 \times 80$$

$$V = \frac{344,8}{0,2}$$

$$TDH = \frac{1724}{80}$$

$$L = 344,8 \text{ kgDBO}_5/d$$

$$V = 1724 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{TDH = 21,5 \cong 22 \text{ dias}}$$

Área (m<sup>2</sup>):

$$V = A \times h \therefore A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{1724}{3}$$

$$A = 575 \text{ m}^2$$

Largura (m):

$$A = 1,1L^2$$

$$L = \sqrt{\frac{575}{1,1}}$$

$$L = 22,9 \text{ m}$$

Comprimento (m):

$$C = 1,1L$$

$$C = 1,1 \times 22,9$$

$$C = 25,2 \text{ m}$$

Adotar pela literatura (VON SPERLING, 1996):

$$E \leq 60\% (0,6) \quad \text{para } T \geq 20^\circ\text{C}$$

$$S = (1 - E) \times S_0$$

$$S = (1 - 0,6) \times 4.310 \text{ mg} \cdot L^{-1}$$

$$S = 1.724 \text{ mg} \cdot L^{-1}$$

Adotar pela literatura (LEME, 2014):

$$E = 70\% (0,7) \quad \text{para } T \geq 20^\circ\text{C}$$

$$S = (1 - E) \times S_0$$

$$S = (1 - 0,7) \times 4.310 \text{ mg} \cdot L^{-1}$$

$$S = 1.293 \text{ mg} \cdot L^{-1}$$