



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS AGROINDUSTRIAIS

WEBERTON DANTAS DE SOUSA

**FILTRO ANAERÓBIO TIPO CYNAMON ADAPTADO PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**

POMBAL – PB
2019

WEBERTON DANTAS DE SOUSA

**FILTRO ANAERÓBIO TIPO CYNAMON ADAPTADO PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais, da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Sistemas Agroindustriais.

Orientadora: Prof.^a D. Andréa Maria Brandão
Mendes de Oliveira

S725f Sousa, Weberton Dantas de.
Filtro anaeróbico tipo Cynamon adaptado para tratamento de efluentes da indústria de laticínios / Weberton Dantas de Sousa. – Pombal, 2019.
42 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Andréa Maria B. M. de Oliveira".
Referências.

1. Efluentes - Tratamento biológico. 2. Efluente industrial. 3. Sustentabilidade. 4. Indústria láctea. I. Oliveira, Andréa Maria B. M. de.
II. Título.

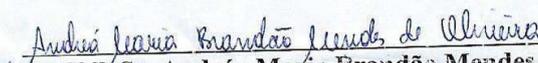
CDU 628.35(043)

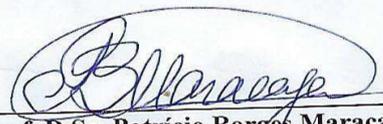
CAMPUS DE POMBAL

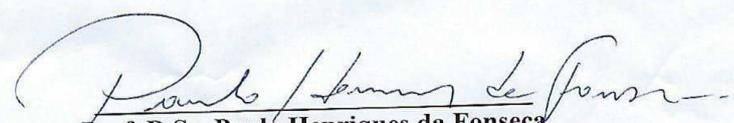
**FILTRO ANAERÓBICO TIPO CYNAMON ADAPTADO PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal-PB, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre (M.Sc.) em Sistemas Agroindustriais.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof.ª B.Sc. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira
Orientadora


Prof. D.Sc. Patricio Borges Maracajá
Examinador Interno


Prof. D.Sc. Paulo Henriques da Fonseca
Examinador Externo

Pombal - PB, 03 de julho de 2019

*Dedico este trabalho a minha família e amigos,
incentivadores nos momentos difíceis desta
caminhada.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador do universo, pela saúde e disposição que me permitiram chegar a este momento de grande felicidade.

Aos meus pais, Inalda e Cícero, que me deram forças e todo apoio necessário durante esta caminhada, para não desistir de buscar meus sonhos. E aos meus irmãos Tamires e Jordon.

A minha orientadora Prof.^a. D. Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira pela dedicação, pelo aprendizado e por acreditar no meu potencial

A Instituição UFCG/CCTA e seu corpo docente que foram corresponsáveis pelo crescimento intelectual.

Ao Laboratório de Análises de Água – LAAg na pessoa do técnico Luiz Fernando de Oliveira Coelho pela enorme contribuição neste trabalho, pelo incentivo e confiança.

Aos meus amigos, que mesmo em distância, se fizeram presentes para tornarem os dias de luta mais fáceis.

E aos amigos e companheiros que fiz durante esta trajetória.

SOUSA, Weberton Dantas de. **Filtro anaeróbio tipo Cynamon adaptado para tratamento de efluentes da indústria de laticínios**. 2019. 41 fls. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2019.

RESUMO

A indústria de laticínios é uma das mais importantes do setor alimentício no país, e sua grandiosidade também se reflete nos problemas quanto aos resíduos por ela gerados. É essencial em uma sociedade cada vez mais preocupada com as questões ambientais, o uso de técnicas e procedimentos que venham tratar o efluente de suas atividades para garantir a qualidade ambiental. Utilizar meios eficientes e sustentáveis é necessário para atender as características do meio e, principalmente, das empresas de pequeno porte, que em sua maioria carecem de sistemas de tratamento adequado. Nessa perspectiva, os filtros anaeróbios se apresentam como uma das alternativas para o tratamento de efluente de laticínios, uma vez que vários estudos demonstram sua eficiência e o baixo custo de sua construção e manutenção. Uma variação na utilização deste filtro foi proposta por Cynamon em 1986, com uma série de três filtros em fluxos ascendente, descendente e ascendente, respectivamente. Este trabalho teve por objetivo testar filtros anaeróbios Cynamon para o tratamento de efluentes oriundos de laticínios. O esgoto bruto foi tratado em dois sistemas de filtros anaeróbios Cynamon, um, com fluxo igual ao proposto originalmente e o outro, com fluxos totalmente ascendentes. Os efluentes bruto e tratado foram submetidos a testes de sólidos sedimentáveis, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, pH, cor, turbidez, condutividade elétrica e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados observados para os sólidos sedimentáveis estavam fora dos padrões estabelecidos pela legislação. Para os sólidos totais, seus resultados indicaram a necessidade de um pré-tratamento. Foi possível observar uma melhora nos teores quanto ao pH, cor, turbidez mesmo estes fora dos padrões estabelecidos em lei. Quanto a DQO, foi verificado um incremento entre a etapa inicial e final do tratamento.

Palavras-chave: Tratamento biológico. Efluente industrial. Sustentabilidade.

SOUSA, Weberton Dantas de. **Cynamon anaerobic filter in the treatment of dairy factory effluents**. 2019. 41 sht. Dissertation (Master's Degree in Agroindustrial Systems) - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB. 2019.

ABSTRACT

Dairy factories have a primordial role in the Brazilian food industry. However, its wastes cause severe ecological impacts. Techniques and procedures to treat effluents of dairy activities are essential to ensure environmental quality. Most small businesses lack proper waste treatment systems, needing implementation of efficient methods to meet environmental sustainability. Several studies show the efficiency and low cost of anaerobic filters as alternatives for the treatment of sewage. Cynamon proposed a variation on the use of this filter in 1986, with a series of three filters in ascending, descending, and ascending flows. This work aimed to test Cynamon anaerobic filters for the treatment of dairy effluents. Raw sewage was treated in two Cynamon anaerobic filter systems, one with the same flow as initially proposed and the other with fully ascending flows. Raw and treated effluents were analyzed for sedimentable solids, total solids, fixed solids, volatile solids, pH, color, turbidity, electrical conductivity, and chemical oxygen demand (COD). The experiment showed that sedimentable solids were outside standards set by legislation and total solids needed pretreatment. At the other hand, the pH, color, turbidity, even outside law standards, had an improvement in quality after filtration. The COD increased from the initial to final stages of treatment.

Keywords: Biological treatment. Industrial effluent. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Medidores de pH, cor, turbidez e temperatura.....	25
Figura 2. Preparação da amostra para DQO.....	27
Figura 3. Dispositivo de saída de efluente para os filtros anaeróbios.....	29
Figura 4. Saída de efluente entupida.....	29
Figura 5. Camada superficial que impede passagem de fluxo nos filtros.....	30
Figura 6. Análise de sólidos sedimentáveis e flutuantes.....	30
Figura 7. Saída de efluente modificada com proteção com tela.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias).....	24
Tabela 2: Teores de SS para um grupo de amostras.....	31
Tabela 3: Comparação nos teores de SS entre efluente bruto e previamente tratado.....	32
Tabela 4: Resultados de ST, STF e STV para efluente previamente filtrado.....	33
Tabela 5: Resultados médios das análises físicas e químicas do efluente bruto e tratado.....	34
Tabela 6: Resultado de DQO nas amostras analisadas.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Peso da cápsula
Ag₂SO₄	Sulfato de Prata
B	Peso da cápsula com resíduo após secagem
C	Contribuição de despejo
C	Peso da cápsula com resíduo após ignição
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar
CE	Condutividade elétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ENSP	Escola Nacional de Saúde Pública
F1,1	Primeiro filtro da série ascendente/descendente/ascendente
F1,2	Segundo filtro da série ascendente/descendente/ascendente
F1,3	Terceiro filtro da série ascendente/descendente/ascendente
F2,1	Primeiro filtro da série totalmente ascendente
F2,2	Segundo filtro da série totalmente ascendente
F2,3	Terceiro filtro da série totalmente ascendente
FB	Amostras coletadas na alimentação
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico
K₂Cr₂O₇	Dicromato de Potássio
L	Litros
L/d	Litros por dia
N	Número de contribuintes
NBR	Norma Brasileira de Referência
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloroeteno
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
T	Tempo de detenção hidráulica em dias
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
V	Volume

VA	Volume da amostra homogeneizada
VP	Volume de solução ferrosa gasta na prova padrão
VPA	Volume gasto de solução ferrosa na amostra
VPB	Volume gasto de solução ferrosa na prova branca
Vu	Volume útil em litros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 A INDÚSTRIA LÁCTEA NO BRASIL.....	15
3.2 O LEITE E SEUS DERIVADOS.....	15
3.3 EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	17
3.4 EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS.....	18
3.5 O PROCESSO ANAERÓBIO.....	19
3.6 FILTROS ANAERÓBIOS.....	20
3.7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	21
4 METODOLOGIA	23
4.1 LOCAL DE ESTUDO.....	23
4.2 FILTROS ANAERÓBIOS EM ESCALA PILOTO.....	23
4.3 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO TIPO CYNAMON.....	23
4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	24
4.4.1 pH, Cor aparente, Turbidez e Condutividade Elétrica	25
4.4.2 Sólidos Totais	26
4.4.3 DQO	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A cadeia agroindustrial de leite, no Brasil, é uma das mais importantes, tanto por sua questão econômica, quanto pela sua questão social. Segundo dados do IBGE (2015), o Brasil produziu 35 bilhões de litros de leite. A grandiosidade do setor também acarreta grandes problemas, principalmente quanto aos efluentes que são gerados em grandes volumes durante o processo produtivo dos seus derivados, os quais são lançados em grande parte sem os devidos tratamentos nos corpos receptores, causando graves danos ambientais. De acordo com Silva (2013), para cada litro de leite processado são gerados de 1 a 6 litros de despejo.

O leite origina uma gama de produtos derivados, como: iogurte, manteiga, leite condensado, queijo, entre outros. Conforme Daniel (2008), o queijo é o derivado que utiliza a maior quantidade de leite em sua fabricação, demandando para cada quilo produzido o volume de 10 litros. Conseqüentemente, a geração de efluentes dessa produção também é elevada.

Os efluentes das indústrias de laticínios são compostos de esgoto doméstico, pedaços de frutas da fabricação de iogurtes, açúcares, graxas, soro e águas residuárias de lavagem, que também contém leite e seus subprodutos diluídos. O soro de queijo, por exemplo, apresenta elevada carga orgânica e sua descarga, muitas vezes, é feita erroneamente em conjunto com os demais efluentes líquidos.

Soma-se a isso o fato do grande número de fábricas que utilizam leite como matéria-prima serem de pequeno e médio porte e, portanto, não possuem condições adequadas para o tratamento dos seus resíduos de produção. Buscar técnicas eficientes e adaptáveis as condições dessas indústrias é essencial para promover uma melhor qualidade do ambiente aos quais estão inseridas, principalmente porque a maioria descarta seus resíduos em cursos d'água que são utilizados como fontes de abastecimento.

Há muito tempo, os processos anaeróbios são utilizados no tratamento dos efluentes de laticínios. Muitos fatores tornam esses processos uma importante ferramenta na melhoria da qualidade dos efluentes. Inicialmente, os processos que se realizam sem a presença de oxigênio apresentam as vantagens da baixa produção de sólidos, de consumo de energia, de área e custos de implantação.

Cabe destacar também o alto teor de matéria orgânica presente nesses esgotos, que são degradados por processos biológicos característicos do tratamento secundário, no qual estão

inseridos os processos anaeróbios, que buscam reduzir significativamente a quantidade de matéria orgânica através da sua conversão em metano e dióxido de carbono.

Dentre a gama de tratamentos anaeróbios dos efluentes lácteos, tem-se destacado a utilização de filtros. De acordo com a NBR 7229 (1993), o filtro anaeróbio é uma “unidade destinada ao tratamento de esgoto, mediante afogamento do meio biológico filtrante”. Os filtros podem ser construídos de concreto, plástico ou fibra de vidro de alta resistência, e seu meio pode ser constituído de brita, bambu ou material plástico.

Esse mecanismo é simples, eficiente e adaptável as condições econômicas e estruturais das indústrias. Entende-se por simples, aqueles que empregam métodos naturais, que são pouco mecanizados, tem baixo custo de construção e operação, além de serem viáveis e sustentáveis.

Uma variante do filtro anaeróbio foi o proposto por Cynamon (1986), constituído de uma série de três filtros com fluxos ascendente, descendente e ascendente, seguidos por uma fase de polimento com filtro de areia. Szachna Eliaz Cynamon foi fundador do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), considerado um dos dezesseis maiores cientistas da Fiocruz, sendo ele o responsável pela primeira patente tecnológica internacional da referida instituição.

De acordo com Roque e Mello Júnior (2014), o processo é semelhante ao que ocorre em filtros biológicos anaeróbios comuns, apresentando a vantagem de dividir o tratamento em três fases, dando tempo necessário para uma máxima atuação dos microrganismos anaeróbios, que assim se utilizam melhor do substrato. O funcionamento é simples, pois os filtros em série possuem o mesmo perfil de construção de filtros comuns, sendo, portanto, de fácil operação e manutenção.

Portanto, a aplicabilidade do tratamento por filtros, sejam convencionais ou em série, além de apresentar custo compatível com as condições das pequenas empresas, permite que o efluente se enquadre dentro dos parâmetros exigidos pela legislação vigente, e possa ser descartado de maneira adequada ao meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Testar filtro anaeróbio CYNAMON adaptado para tratamento de efluentes oriundos de indústrias de laticínios.

2.2 ESPECÍFICOS

- Montar série de três filtros anaeróbios em escala piloto com fluxo ascendente, descendente e ascendente;
- Montar série de três filtros anaeróbios em escala piloto com fluxo ascendente, ascendente e ascendente;
- Avaliar eficiência dos filtros mediante análises de sólidos, pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, DQO;
- Confrontar os resultados obtidos com os dispostos na Resolução CONAMA 430/2011.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A INDÚSTRIA LÁCTEA NO BRASIL

“A indústria láctea no Brasil começou o seu desenvolvimento a partir da crise de 1929, com a queda das importações e o aumento da valorização de produtos nacionais”. (MAGANHA, 2006). De acordo com Vargas e Fiegenbaum (2014), o grande aumento na produção, porém, se deu a partir de 1990 com algumas ações governamentais, como a abertura da economia brasileira ao mercado internacional gerando um salto na qualidade, o fim da intervenção governamental no preço do leite e a estabilização da economia após o fim da Guerra Fria.

O efeito proporcionado por essas ações colocou o Brasil entre os maiores produtores já no início do século XXI. Em 2004, pela primeira vez, as exportações de produtos lácteos superaram as importações (ICEPA, 2009). Segundo dados mais recentes do IBGE, em 2015 o Brasil estava entre os cinco maiores com uma produção de 35 bilhões de litros de leite, embora apresenta-se uma queda de 0,4% em relação a 2014. A partir desse ano, a região sul do país foi a maior produtora com 35% do total, desbancando a região sudeste cuja produção era de 34%.

Souza (2014) relata que embora o país esteja nesta posição, sua produtividade é relativamente atrasada o que possibilita aumentar ainda mais sua produção através da adoção de novas técnicas de manejo e investimento aos produtores. Essa expansão pode ocorrer tanto verticalmente (investimentos em modernização durante toda a cadeia produtiva) como horizontalmente (expansão em novas áreas). Esta última principalmente em virtude da produção no Brasil ocorrer em praticamente toda extensão territorial devido suas condições edafoagroclimáticas, que propicia a adaptação as diversas peculiaridades regionais. (PETRUZZI, 2014)

3.2 O LEITE E SEUS DERIVADOS

Leite é o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas, segundo o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (BRASIL, 2017).

O leite é composto de água, gordura, proteínas, açúcares e sais minerais. Sereia (2014, *apud* HENARES, 2015) descreve aproximadamente as porcentagens de cada componente do leite. Segundo a autora, 87% é constituído de água, 3,5 a 6% de gordura, 3 a 4% de proteínas, 5% de lactose e pequenas quantidades de sais como potássio, cálcio e cloro.

Estes teores devem ser monitorados pelas indústrias através de análises para verificar se estão dentro dos padrões considerados normais, também devendo ocorrer pesquisas de neutralizantes de acidez e reconstituintes de densidade uma vez que estas podem estar envolvidas nas fraudes por adição de água ou soro do leite (MAPA, 2012).

O leite gera uma gama de subprodutos, os chamados derivados. Para Reis et al. (2010): “são considerados derivados do leite aqueles produtos obtidos mediante a sua transformação ou de um dos seus componentes em um outro produto, com características organolépticas e físicas próprias”. O consumo do leite e seus derivados, em conjunto com os demais alimentos, permite que se tenha uma nutrição equilibrada.

Dentre a enorme variedade de subprodutos, pode-se destacar o creme de leite, manteiga, leite em pó e queijo. Entende-se por creme de leite “o produto lácteo rico em gordura retirada do leite por meio de processo tecnológico específico, que se apresenta na forma de emulsão de gordura em água”. (BRASIL, 2017). Antoniazzi e Rech (2011) descrevem a classificação do creme de leite em três níveis de acordo com seu teor de gordura em leve, o creme e o de alto teor de matéria gorda.

A manteiga é o “produto lácteo gorduroso obtido exclusivamente pela bateção e malaxagem, com ou sem modificação biológica do creme de leite, por meio de processo tecnológico específico. A matéria gorda da manteiga deverá estar composta exclusivamente de gordura Láctea” (BRASIL, 2017). Este creme também é conhecido como nata, possuindo uma cor branco-amarelada e que se forma mediante o repouso do leite (REIS et al., 2010).

O leite em pó “é o produto obtido por meio da desidratação do leite integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para alimentação humana, mediante processo tecnológico adequado” (BRASIL, 2017).

Quanto ao queijo, de acordo com Brasil (2017):

[...] é o produto lácteo fresco ou maturado que se obtém por meio da separação parcial do soro em relação ao leite ou ao leite reconstituído - integral, parcial ou totalmente desnatado - ou de soros lácteos, coagulados pela ação do coalho, de enzimas específicas, produzidas por microrganismos específicos, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem adição de substâncias alimentícias, de especiarias, de condimentos ou de aditivos.

O queijo é recomendável na alimentação do indivíduo, principalmente por seus constituintes como proteínas, sais minerais e vitaminas, além de fortalecer os ossos e dentes. (LOBATO, 2008)

3.3 EFLUENTES INDUSTRIAIS

Na indústria, as águas podem ser utilizadas em diversas etapas do processamento, como também na limpeza de pisos e maquinários, consumo humano. Todas essas utilizações alteram suas características físicas, químicas e biológicas, gerando assim os efluentes líquidos (GIORDANO, 2004)

De acordo com a NBR 9800 (1987), o efluente líquido industrial compreende+ o “despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo efluentes de processo industrial, águas de refrigeração poluídas, águas pluviais poluídas e esgoto”. A composição destes, por sua vez, varia de acordo com o tipo de processamento industrial empregado e a matéria-prima.

O lançamento destes esgotos sem os devidos tratamentos provoca muitos impactos no ambiente, sendo uma das principais causas de contaminação de águas. E embora sua composição varie por estabelecimento industrial, os poluentes presentes são sempre de natureza orgânica ou inorgânica. Dentre os orgânicos, os hidrocarbonetos, ácidos e sais orgânicos e os de caráter inorgânico, nutrientes e metais pesados (COSTA, 2008)

Quanto aos nutrientes cabe destacar a presença de fósforo e nitrogênio, que ao estarem em excesso nos despejos industriais provocam eutrofização dos corpos hídricos receptores, uma vez que estes são fontes de nutrientes para as algas. A proliferação exagerada destas, cuja decomposição por bactérias aeróbias leva a diminuição do oxigênio dissolvido na água causam, por exemplo, a mortandade de peixes (KOSER, 2012)

Em geral, por serem complexas misturas de compostos orgânicos e inorgânicos, são utilizados métodos globais ou indiretos da avaliação do potencial poluidor dos efluentes industriais, ocorrendo através das análises se DBO e DQO para a parte orgânica e métodos específicos para a fração inorgânica. Seu tratamento pode ser por processos físicos, químicos e biológicos e variam, dependendo de cada indústria. (CAMARROTA, 2011; DANIEL, 2008)

3.4 EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS

Durante o processo produtivo dos diversos derivados do leite é gerado um enorme volume de efluentes, principalmente líquidos, resultantes do elevado consumo de água no processamento e limpeza de equipamentos, por isso, as indústrias de laticínios são uma das maiores geradoras de efluentes. O uso da água se dá em função da incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações e pisos, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos e esgotos sanitários gerados pela empresa. (BEGNINI E RIBEIRO, 2014)

Em virtude do variado uso da água, a composição dos esgotos dessas indústrias segundo Prado e Cabanelas (2008):

São constituídos por leite e seus subprodutos, detergentes, desinfetantes, areia, lubrificantes, açúcar, pedaços de frutas (em caso de produção de iogurte), essências e condimentos diversos (no caso da produção de queijos e manteigas) que são diluídos na água de lavagem de equipamentos, tubulações, pisos e demais instalações da indústria.

Esses efluente são ricos em presença de gorduras, proteínas e carboidratos (DANIEL, 2008). Embora entre as indústrias lácteas os esgotos sejam similares entre si, de forma mais específica a composição pode ter variações dependendo do produto derivado, das práticas de gestão ambiental e do volume de leite processado (COSTA, 2008)

Se levarmos em consideração apenas a produção o queijo, são gerados três tipos de efluentes: soro de queijo resultante da coagulação da caseína, o segundo soro de queijo resultante da produção de queijo cottage e águas residuais de lavagem contendo o soro. (PRAZERES, 2012).

Em muitas indústrias o soro do queijo leva a mesma destinação dos demais efluentes líquidos, e isto agrava seriamente o fato, devido ao elevado potencial poluidor que o soro tem. Ele é aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico. Por isso, o soro, junto com o leite e o leite ácido, devido aos seus valores nutritivos e elevadas cargas orgânicas, devem receber destinação diferente. (SILVA, 2011).

O soro pode ser valorizado através da técnica de recuperação da lactose e proteínas, como nem sempre é viável a sua utilização estima-se que praticamente metade do soro é destinado sem o uso de tratamento sofisticado (PRAZERES, 2012; DRAGONE, 2009).

Segundo Rodrigues e Marinho (2012 apud Almeida e Grossi, 2014), “efluentes contendo elevados teores de lipídeos, como os provenientes de laticínios, causam grandes danos ao meio ambiente, como a formação de filmes de óleo nas superfícies d’águas, impedindo a difusão de oxigênio do ar para esse meio”. Outros problemas estão relacionados com a presença de sólidos suspensos e o pH fora dos padrões de lançamento.

De acordo com Silva e Eynng (2013), tais condições “apontam para a necessidade de se encontrar mecanismos de tratamento que levem, não somente à redução desses resíduos, como também à devolução de uma água mais pura ao meio ambiente, aliando ao reuso da água em diversas aplicações”.

3.5 O PROCESSO ANAERÓBIO

De acordo com Chenicharo (2007 apud SILVA, 2014), “a digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais, cada um com sua população bacteriana específica. Microrganismos se empenham interativamente para a conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas”.

Para Silva (2014), “a digestão anaeróbia de material orgânico complexo como proteínas, lipídeos e carboidratos, deverão ocorrer quatro etapas distintas: hidrolisação; acidificação; acetificação e metanificação; fazendo com que as populações microbianas se dividam respectivamente em quatro grupos, cada qual com particularidades fisiológicas distintas”.

Pandey et al. (2011) diz que: “por ser um processo complexo, na digestão anaeróbia a produção de gás somente é iniciada se houver uma população equilibrada de microrganismos acetogênicos e metanogênicos. A forma como é feita a partida do sistema anaeróbio determina o tempo necessário para atingir este equilíbrio”.

Esse processo é afetado por diversos parâmetros como temperatura e pH, presença de nutrientes e de materiais tóxicos sendo, portanto, necessário a criação de condições ótimas para a máxima eficiência. (FAGUNDES, 2010).

Vazoller (2014 apud SILVA, 2014) relata que “a eficiência do processo anaeróbio é função de uma série de interações entre múltiplos grupos de microrganismos, os quais possuem diferentes capacidades de degradação, em que os metabólicos intermediários de um grupo irão servir como substrato para o desenvolvimento de outros”.

O tratamento anaeróbico é recomendado para o tratamento de efluentes que possuam altas concentrações de substâncias orgânicas. Durante a degradação, a matéria orgânica (solúvel e particulada) é convertida em metano e dióxido de carbono (BARCELLOS; CARVALHO, 2013). O tratamento anaeróbico de efluentes consiste na utilização de bactérias anaeróbicas para a decomposição da matéria orgânica presente no efluente. Este tratamento pode ser aplicado em diversos setores industriais como papelarias, abatedouros e laticínios (DANIEL, 2008; KISPERGHER, 2013).

O tratamento do efluente da indústria leiteira, por processos anaeróbicos, se dá em virtude do baixo gasto de energia, reduzida produção de lodo e a geração de gás metano para uso energético (BANU, 2007 *apud* KISPERGHER, 2013). Dentro da variedade de tratamentos sem a presença de oxigênio, podemos destacar os filtros anaeróbicos.

3.6 FILTROS ANAERÓBIOS

Costa (2008) define os filtros anaeróbicos como um tanque preenchido de britas ou outro material inerte, onde os microrganismos irão se desenvolver e aderir a superfície do material de enchimento, formando um biofilme, ou em forma de flocos e grânulos. Estima-se que entre 50% e 70% da profundidade do filtro seja preenchida pelo material suporte.

O filtro anaeróbico é um reator de leito fixo, no qual a matéria orgânica é estabilizada através da ação de microrganismos que ficam retidos nos interstícios ou apoiados no material suporte que constitui o leito filtrante. Podem ser construídos em alvenaria ou plástico de alta densidade. Podem ter várias formas, configurações e dimensões, desde que se obtenha fluxo bem distribuído pelo meio percolador e bom desempenho funcional. Podem ter fluxo ascendente, descendente ou horizontal.

De acordo com Pestana e Lyra (2007) o leito filtrante pode ser constituído de matérias como quartzo, blocos cerâmicos, concha de ostras e de mexilhões, calcário, anéis plásticos, cilindros vazados, blocos modulares de PVC, granito, esferas de polietileno, bambu, etc. Suas funções são diversas, desde separar o sólido dos líquidos até promover o contato o afluente com os sólidos retidos no interior do filtro.

No sentido de melhorar a qualidade dos efluentes, variações do filtro anaeróbico surgiram no decorrer do tempo. Uma destas variações foi proposta por Cynamon (1986), em que o filtro anaeróbico é usado em série de três filtros (ascendente, descendente, ascendente), e um posterior polimento é feito por um filtro de areia.

Szachna Elias Cynamon foi fundador do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP), considerado um dos dezesseis maiores cientistas da Fiocruz, e responsável pela primeira patente tecnológica internacional da referida instituição. Ribeiro (2012) relata que o professor “dedicou sua vida à busca e difusão de conhecimentos e práticas aplicadas ao saneamento, especialmente para pequenas localidades”.

Segundo Roque e Mello Júnior (2014), “em Niterói, Município do Estado do Rio de Janeiro, vem sendo aplicada uma variação do filtro do tipo CYNAMON, que é utilizada para o tratamento de efluentes de um entreposto de pesca. A diferença entre este filtro é que neste os três fluxos são ascendentes”. Os autores relatam que em Cabo Frio, também no Rio de Janeiro, foram localizados trinta e três filtros de três estágios, cujo efluente produzido é geralmente límpido e inodoro.

3.7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O crescimento da preocupação ambiental, por parte dos consumidores, nas últimas décadas, e a legislação ambiental, cada vez mais rígida, tem levado as indústrias a mudarem seus processos produtivos em busca da redução no consumo de matéria-prima e consequentemente a diminuição dos seus rejeitos (MILAN; VITORAZZI; REIS, 2010).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 430, de 30 de maio de 2011, “dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes”. Segundo esta resolução, em seu Art. 5º: “os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, no seu enquadramento”.

O Art. 16 reza que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstas, resguardadas outras exigências cabíveis. Dentre as quais:

- a) pH entre 5 a 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.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE ESTUDO

A construção do filtro anaeróbio tipo Cynamon, em escala piloto, ocorreu no Laboratório de Análises de Água (LAAg) da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG/CCTA), Campus Pombal – PB. Segundo dados do IBGE, o município conta com 32.110 habitantes, numa área territorial de 888,807 km² (IBGE, 2010). O efluente utilizado foi de uma queijeira do referido município, nela ocorre o reaproveitamento do soro e, portanto, consistia em basicamente de água de lavagem de utensílios, divergindo dos padrões de lançamento de grande parte das indústrias.

4.2 FILTROS ANAERÓBIOS EM ESCALA PILOTO

Para efeitos práticos e em virtude de espaço físico, os filtros foram dimensionados e reduzidos proporcionalmente em escala de 1:2.280. O experimento se deu em duas séries com três filtros confeccionados em tubos de PVC de Ø100, que terão fluxo ascendente, descendente, ascendente, e fluxo totalmente ascendente, respectivamente. A altura foi de 50 cm preenchida com leito filtrante de pedra britada n° 4.

Os filtros tiveram um tempo de partida de 15 (quinze) dias anteriores a realização das análises.

4.3 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO ANAERÓBIO TIPO CYNAMON

Para esta etapa do trabalho foi utilizado a NBR 13969 (1997), que trata dos tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. De acordo com a norma mencionada, o dimensionamento de um filtro anaeróbio se dá através do volume útil do mesmo, que é função do número de contribuintes, da contribuição e do tempo de detenção hidráulica, calculado através da equação 01:

$$Vu = 1,6 \times N \times C \times T \quad (\text{equação 01})$$

Sendo:

Vu – Volume útil em litros (L);

N – Número de contribuintes ou unidade de contribuição;

C – Contribuição de despejo em litros/dia (l/d) e

T – Tempo de detenção hidráulica em dias.

Com a determinação da contribuição e baseado na temperatura do mês mais frio para a cidade onde se realiza o estudo, obtemos um tempo de detenção hidráulica conforme a Tabela 1. A Tabela 1 demonstra a variação do tempo de detenção hidráulica de acordo com a temperatura local.

Tabela 1: Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias)

Vazão L/d	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15°C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1500	1,17	1,0	0,92
De 1501 a 3000	1,08	0,92	0,83
De 3001 a 4500	1,00	0,83	0,75
De 4501 a 6000	0,92	0,75	0,67
De 6001 a 7500	0,83	0,67	0,58
De 7501 a 9000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9000	0,75	0,50	0,50

Fonte: Elaborado pelo autor com base na NBR 13969/97 (2018).

O volume foi reduzido em escala de 1:2.280. Como já descrito, os filtros são construídos em tubos de PVC com raio de 0,05 m possuindo a forma cilíndrica cujo volume é dado pela equação 2.

$$V = \pi \times h \times r^2 \quad (\text{equação 2})$$

4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

Foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos mais relevantes, preconizados pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011, a saber: sólidos sedimentáveis,

sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica (CE) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

As análises foram conduzidas em amostras coletadas na alimentação (FB) e após cada filtro do sistema em ambas as séries. Sendo F1,1 (o primeiro filtro da série ascendente/descendente/ascendente), F1,2 (o segundo filtro da série ascendente/descendente/ascendente) e F1,3 (o terceiro filtro da série ascendente/descendente/ascendente). F2,1 (o primeiro filtro da série totalmente ascendente), F2,2 (o segundo filtro da série totalmente ascendente) e F2,3 (o terceiro filtro da série totalmente ascendente).

4.4.1 pH, Cor aparente, Turbidez e Condutividade Elétrica

Para determinação do potencial hidrogeniônico utilizou-se phmêtro digital marca Tecnopon. Na determinação de Cor aparente, medida em UC Hazen, fez-se utilização do equipamento Lovibond e na turbidez, observada em NTU, o Turbidímetro Policontrol AP 2000. Todos estes testes seguiram a metodologia determinada pelo fabricante e as amostras não precisaram de conservação já que a análise ocorreu logo após a coleta. A Figura 1 mostra os aparelhos utilizados nas respectivas leituras.



Figura 1. Medidores de pH, cor, turbidez e temperatura

Fonte: Autor (2018).

4.4.2 Sólidos Totais

Inicialmente, foi preparada a cápsula de evaporação, ignizada a $500 + 50^{\circ}\text{C}$ durante uma hora em forno mufla. Em seguida, a cápsula foi resfriada até em temperatura ambiente em dessecador até encontrar peso constante. Depois, um determinado volume da amostra homogeneizada (VA) foi medido e posto a evaporar na cápsula, previamente preparada e pesada (A = peso da cápsula), em banho-maria. Após a evaporação, a cápsula com resíduo foi levada à estufa com temperatura entre 103° e 105°C para eliminação da umidade residual.

Após a secagem, a cápsula foi então resfriada em um dessecador e pesada (B = peso da cápsula com resíduo após secagem), até que se obteve um peso constante. O último estágio da determinação de sólidos totais incluiu a ignição da cápsula mais o resíduo em forno mufla pré-aquecido a $500 + 50^{\circ}\text{C}$, com posterior resfriamento em um dessecador (C = peso da cápsula com resíduo após ignição). Deixou-se a cápsula esfriar parcialmente ao ar livre, até que a maior parte do calor foi dissipada. Transferiu-se para um dessecador, para o resfriamento total. Foi repetido o processo até que se encontrou peso constante.

Para a determinação foi utilizado as seguintes equações.

$$ST = \frac{1000 (B-A)}{VA}$$

$$VA$$

$$1000$$

$$STV = \frac{1000 (B-C)}{VA}$$

$$VA$$

$$1000$$

$$STF = \frac{1000(C-A)}{VA}$$

$$VA$$

$$1000$$

4.4.3 DQO

A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada em tubos próprios para a análises foram pipetados 1,5ml de solução digestora de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), 2,5ml das amostras e 3,5ml de solução catalizadora de sulfato de prata (Ag_2SO_4). A prova em

branco seguiu o mesmo procedimento, substituindo a amostra por água destilada. As amostras foram diluídas 100 vezes e misturadas usando um misturador vibratório, e logo após foram para o bloco de digestão por 2 horas a 148°C.

Após esse período, as amostras foram retiradas do equipamento e esfriaram por 15 minutos. Em seguida, o conteúdo dos tubos foi transferido para erlenmeyers de 100 ml e depois lavados com água destilada, numa quantidade que não ultrapassasse o valor de 25ml. Na sequência, adicionou-se uma gota de solução indicadora ferroína e, só então, foi realizada a titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal até que a cor azul pálida mudasse para castanho.

Para a amostra padrão foram pipetados 1,5ml da solução digestora em erlenmeyer de 100ml, adicionados 15ml de água destilada e 3,5ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Essa amostra foi levada para agitador mecânico até esfriar e depois titulada tal qual as anteriores. Todas as análises foram em duplicatas. Para o cálculo utilizou-se a seguinte expressão:

$$\text{DQO (mg O}_2\text{/l)} = (\text{VPB} - \text{VPA}) \times 1000/\text{VP}$$

VPB – Volume gasto de solução ferrosa na prova branca;

VPA – Volume gasto de solução ferrosa na amostra;

VP – Volume de solução ferrosa gasta na prova padrão.

A Figura 2 destaca uma das etapas do processo da DQO.



Figura 2. Preparação da amostra para DQO

Fonte: Autor (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Machado (2002 *apud* SILVA, 2011), o coeficiente de geração de efluente líquido em uma queijeira é em média 2 litros por litro de leite recebido. Considerando-se uma unidade que utiliza em sua produção diária de queijo uma média de 4193,75 litros de leite, o volume de despejo (C) na equação 1 será de 8387,5 litros/dia.

Com essa contribuição e tendo em vista que a temperatura média do mês mais frio para a cidade de Pombal – PB é acima de 25°C, obtemos um tempo de detenção hidráulica de 0,5 dia conforme a Tabela 1. Então, o volume dos filtros pôde ser dimensionado.

$$\begin{aligned} V_u &= 1,6 \times N \times C \times T \\ V_u &= 1,6 \times 1 \times 8387,5 \times 0,5 \\ V_u &= 6710 \text{ l ou } 6,71 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Reduzindo esse valor em escala, conforme a metodologia, foi utilizado como volume de projeto para a construção, em escala piloto, o valor de $2,94 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. Com esse dado, e utilizando-se da equação 2, foi possível determinar a altura do leito filtrante, conforme o cálculo a seguir.

$$\begin{aligned} h &= \frac{V}{\pi \times r^2} \\ h &= \frac{2,94 \cdot 10^{-3}}{\pi \times 0,05^2} \\ h &= 0,374 \text{ m ou } 37,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Para Costa (2008), os filtros anaeróbios podem ser usados como única e direta forma de tratamento de esgotos e que em algumas indústrias, como a leiteira, estes tem sido utilizado como unidade principal de tratamento. Diante disto, as séries de filtros foram construídas, inicialmente, sem a presença de um pré-tratamento com saída direta do efluente do reservatório, como mostra a Figura 3.



Figura 3. Dispositivo de saída de efluente para os filtros anaeróbios
Fonte: Autor (2018)

Entretanto, durante o tempo de partida foram observados problemas, principalmente relacionados com entupimentos que impediram a passagem do fluxo esperado. As Figuras 4 e 5 mostram a problemática apresentada.



Figura 4. Saída de efluente entupida
Fonte: Autor (2018).

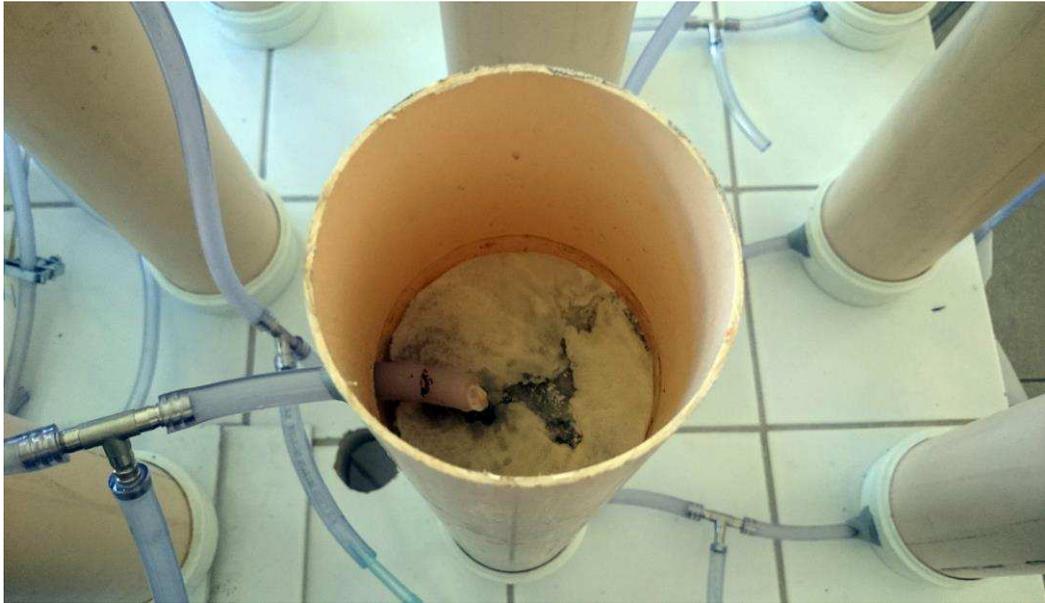


Figura 5. Camada superficial que impede passagem de fluxo nos filtros

Fonte: Autor (2018).

Devido a isto, e em virtude das características apresentadas pelo efluente em estudo, que embora sejam divergentes de grande parte de outros trabalhos, pois os padrões de lançamento contam com a parcela de soro, foram realizadas análises da presença de SS. A Figura 6 mostra o processo de análise em Cone Imhoff.

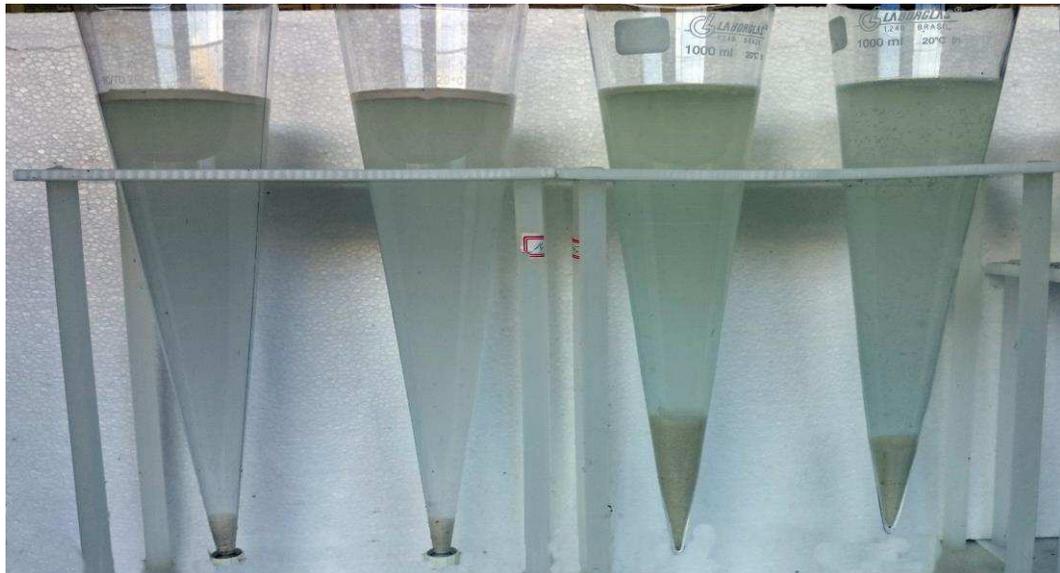


Figura 6. Análise de sólidos sedimentáveis e flutuantes

Fonte: Autor (2018).

De acordo com Begnini e Ribeiro (2014), “as altas concentrações de sólidos podem interferir no desenvolvimento da biota aquática, pois a sedimentação de sólidos soterra os

organismos bentônicos, essenciais para a alimentação da fauna aquática”. Os dados observados para sólidos sedimentáveis estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Teores de SS para um grupo de amostras

Amostras	SS
Amostra 1	3
Amostra 2	7
Amostra 3	4
Amostra 4	5
Amostra 5	40
Amostra 6	22
Amostra 7	75
Amostra 8	4

Fonte: Autor (2018).

Para o efluente bruto, Silva (2006) observou valores que variaram de 0 ml/L a 27 ml/L para sólidos sedimentáveis. Costa (2008) encontrou valores que variaram entre 0 ml/L e 0,1 ml/L para o mesmo parâmetro. Begnini e Ribeiro (2014) observaram em seu estudo para SS, valores que variaram entre 1 ml/L e 1,75 ml/L.

Comparando os resultados, podemos verificar que a maioria das amostras observadas nesse trabalho estão dentro da faixa citada por Silva (2006). Algumas ficaram próximas do observado por Costa (2008). Pela variação existente nas amostras analisadas é possível constatar uma mudança nas características do efluente dependendo do dia em que foi realizada a coleta, caracterizando um efluente heterogêneo. Os valores que se apresentaram fora da faixa limite podem ter sofrido influência da própria composição do leite, utilizado no dia da análise.

De acordo com a CONAMA 430/2011, para o despejo, o valor máximo permitido para materiais sedimentáveis é de 1 ml/L, portanto, nenhuma das amostras poderia ser lançada *in natura* em corpos receptores.

Mediante os resultados obtidos, observou-se a necessidade de um pré-tratamento. Neste experimento, esse processo inicial de remoção de sólidos se deu pela troca do dispositivo de saída de efluente bruto, passando de uma saída direta para uma saída com proteção com tela, como mostra a Figura 7.



Figura 7. Saída de efluente modificada com proteção com tela
Fonte: Autor (2018).

Além disso, os efluentes passaram por um tratamento preliminar simples, para a remoção de partículas mais grosseiras, antes de serem colocadas no recipiente de alimentação. Este efluente, previamente tratado, foi submetido a análises de SS e também a testes de STF e STV. De acordo com Henares (2015), “os sólidos totais contribuem para o aumento da matéria orgânica, e vão diminuir a eficiência do sistema, uma vez que os microrganismos demoram mais para degradá-los”. Na Tabela 3 estão descritos os teores de SS em uma comparação de antes e depois do pré-tratamento. Na Tabela 4 são observados os teores de ST, STF e STV para efluente, previamente tratado.

Tabela 3: Comparação nos teores de SS entre efluente bruto e previamente tratado

Amostras	SS	SF
Amostra 1	7	50
Amostra 1 Tratada	2,5	10
Amostra 2	5	50
Amostra 2 Tratada	3	10
Amostra 3	29	70
Amostra 3 Tratada	20	40
Amostra 4	30	75
Amostra 4 Tratada	15	30

Fonte: Autor (2018)

Tabela 4: Resultados de ST, STF e STV para efluente previamente filtrado

Amostras	ST	STV	STF
Amostra 1	4892,5	4477,5	415
Amostra 2	4190	3782,5	407,5
Amostra 3	4022,5	3631,25	391,25
Amostra 4	5450	5197,5	252,5
Amostra 5	3913,75	3645	268,75
Amostra 6	3482,5	3241,25	241,25

Fonte: Autor (2018).

Pode-se observar então uma redução nos valores de SS, se comparados aos dados anteriores ao tratamento preliminar, o que fomenta ainda mais a necessidade de um pré-tratamento, que pode ser realizado através da presença de um tanque séptico, em um modelo real.

Para os sólidos totais em efluente de laticínios, Silva (2006) encontrou teores de 2060 mg/L. Costa (2008) obteve resultados que variaram de 4.800 mg/L a 15160 mg/L. Felipe (2009), em sua análise, verificou para ST um valor de 2710 mg/L, enquanto Andrade (2011) 3938 mg/L. Henares (2015) observou valores de 692 mg/L. Os sólidos totais em efluente bruto, neste trabalho, se assemelharam aos dados observados por Costa (2008).

Após a mudança na configuração de saída, e passado o período de partida, as amostras foram coletadas e passaram por análises físicas de pH, Cor, Turbidez e Condutividade Elétrica (CE). De acordo com Henares (2015), o pH influencia diretamente na velocidade das reações de degradação das cadeias de carboidratos, lipídeos e proteínas em cadeias menores.

A turbidez é o parâmetro físico indicador do estado de decomposição do efluente doméstico, esse valor é aproximado e não é utilizado como meio de monitoramento desse efluente, porém pode ser usado na verificação da eficácia no tratamento secundário, visto que é possível de se realizar uma comparação entre esse valor e o valor de sólidos em suspensão obtido (JORDÃO; PESSOA, 2014).

Backes (2016) descreve que a cor “também é considerada indicadora do estado de decomposição da matéria orgânica (basicamente vegetais: ácidos húmicos e fúlvicos) presente no efluente, a cor tem como seu constituinte incumbido a presença de sólidos dissolvidos”.

Souza et al. (2011) dizem que “a condutividade elétrica é a expressão numérica da habilidade de uma solução aquosa de transmitir corrente elétrica. Esta capacidade depende da

presença de íons, da concentração total deles, mobilidade, valência, concentrações relativas e da temperatura”.

A Tabela 5 traz os resultados obtidos para os parâmetros pH, cor, turbidez e condutividade elétrica observados nas amostras em análise.

Tabela 5: Resultados médios das análises físicas e químicas do efluente bruto e tratado

Parâmetros	FB	F1,1	F1,2	F1,3	F2,1	F2,2	F2,3
pH	3,83	3,88	4,07	4,18	4,18	4,34	4,49
Cor	4345,0	4352,5	3792,5	1350	5357,5	2732,5	757,5
Turbidez	822,25	929,75	815,75	246,5	670,75	504	137,5
CE	1027,62	958,72	978,12	890,00	969,55	973,45	980,22

Fonte: Autor (2018).

Para o pH de efluente de laticínios bruto, Silva (2006) encontrou teores de 8,77. Felipe (2009), em sua análise, verificou um pH de 5,4, enquanto Andrade (2011), 8,47. Henares (2015) observou valores de 8,3. Os valores encontrados nesse trabalho se aproximaram ao observado por Felipe (2009).

Os teores de pH, tanto no efluente quanto nos filtros estão fora dos padrões adequados. Para as condições ótimas de eficiência do processo anaeróbio, Costa (2008) cita que os valores adequados estão próximos a neutralidade, na faixa de 7,0 a 7,2, sendo necessário o controle do valor observado para satisfazer primordialmente as bactérias. Sendo assim, em nenhuma etapa da filtração, o valor esteve dentro da faixa recomendada, mesmo que houvesse uma tendência de aumento dos valores obtidos entre o início e final do tratamento.

Quanto ao pH, após tratamento por filtros anaeróbios, Costa (2008), em uma das etapas do seu trabalho, em que foram realizadas filtrações por série de dois filtros, verificou uma melhora nos valores desse parâmetro entre o primeiro e segundo reator. Em uma das análises variou de 5,22 para 7,51, em outro teste variou de 5,195 para 7,10. Essa melhora também foi observada neste estudo, embora em proporções menores.

Para o despejo em corpos hídricos, os dados de pH após passagem pelos dois sistemas de filtração também não estão dentro da faixa, que varia de 5 a 9, preconizada pela CONAMA 430/2011, portanto, estaria impossibilitado o seu lançamento em corpos hídricos receptores.

A cor e turbidez não são preconizadas na CONAMA 430/2011, entretanto, por se tratar de sólidos dissolvidos e suspensos, respectivamente, sua presença pode afetar a análise de outros parâmetros, como a condutividade elétrica. A condutividade elétrica está associada

a presença de íons, que interferem num possível reaproveitamento do efluente tratado, como por exemplo, na irrigação.

As amostras também foram submetidas a testes de DQO. De acordo com Costa (2008), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) pode ser definida como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica com um auxílio de um agente químico oxidante em meio ácido.

Daniel (2008) relata que “a demanda química de oxigênio (DQO) é um parâmetro global utilizado como indicador do conteúdo orgânico de águas residuárias e superficiais, e bastante utilizado no monitoramento de estações de tratamento de efluentes líquidos”. Corroborando com o descrito por Daniel (2008), Cammarota (2011) cita que a DQO, devido a sua facilidade de realização, passou a ser um parâmetro muito difundido para caracterização de efluentes e monitoramento de estações de tratamento.

A Tabela 6 nos traz os valores de DQO obtidos em cada um dos filtros, em ambas as séries, mediante o uso da metodologia descrita.

Tabela 6: Resultado de DQO nas amostras analisadas

Amostras	DQO
FB	843,4
F1,1	987,9
F1,2	963,8
F1,3	867,5
F2,1	722,9
F2,2	891,6
F2,3	891,6

Fonte: Autor (2018).

A CONAMA 430/2011 não estabelece um valor máximo permitido para o parâmetro DQO, entretanto a NBR 13969/1997 determina que um conjunto fossa séptica e filtro tenha de 40% a 70% de eficiência na remoção de DQO. No tratamento proposto não foram verificadas reduções ao longo das séries de filtros.

Os aumentos observados, ao longo do tratamento, podem ter sido causados por vários fatores. Segundo Aquino, Silva e Chernicharo (2006), alguns efluentes industriais podem conter significativas concentrações de substâncias inorgânicas reduzidas, que podem ser oxidadas pelo dicromato e causar DQO. Ainda segundo os autores, se a análise da eficiência

de um sistema de tratamento na remoção de matéria orgânica for feita apenas com base na DQO, deve-se ter em mente que esses compostos inorgânicos reduzidos, tanto na forma dissolvida quanto particulada, podem contribuir significativamente para a DQO.

O tempo de partida, período em que as bactérias anaeróbias em um sistema de tratamento se desenvolvem, pode ter afetado o tratamento. O período de 15 (quinze) dias utilizados nesse trabalho, pode não ter sido suficiente.

Outra possível causa associada é o tempo de detenção hidráulica. Muito embora tenha sido determinado tal qual a norma específica, por questões operacionais, esse período pode não ter sido respeitado, como também não tenha sido suficiente para uma completa degradação.

O pH é outro parâmetro que pode ter contribuído para a não redução nos valores de DQO. Como mencionado, o pH próximo a neutralidade é o ideal para a máxima eficiência das bactérias anaeróbias e, neste trabalho, o efluente apresentou características ácidas, que provavelmente afetou o processo da digestão.

Outro ponto que cabe destaque está associado a temperatura ambiente. No dimensionamento, leva-se em consideração a temperatura média do mês mais frio para a cidade onde está instalada a unidade de tratamento. Para a cidade de Pombal – PB, esta temperatura está situada acima de 25°C. Entretanto, a unidade piloto foi construída dentro de um laboratório com presença de ar-condicionado, funcionando em torno de 20°C.

De acordo com Gomes (2006), a temperatura ideal para a formação microbiana de metano está situada em duas faixas ótimas de temperatura, a primeira variando de 30 a 35°C e a segunda de 50 a 55°C. Abaixo de 20°C, a eficiência se reduz. O aumento da temperatura provoca a diminuição no tempo de detenção hidráulica e melhora a atividade microbiana, e com isso poderia se verificar melhores resultados nos parâmetros.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, os resultados observados não estavam em acordo com o que preconiza a CONAMA 430/2011 em nenhum filtro das duas séries propostas. Os resultados observados divergiram de outros estudos realizados com filtros anaeróbios e efluentes de laticínios, em que se verificava melhoras significativas da qualidade. Entretanto, foi possível observar uma melhora quanto ao pH, cor, turbidez e condutividade elétrica. A utilização de um filtro de polimento em areia poderá vir ajudar a melhorar ainda mais os índices.

Embora para a DQO, um dos principais parâmetros na análise da eficiência de um tratamento de efluentes, tenha se observado uma ampliação entre a etapa final e inicial de tratamento, a utilização do sistema proposto por Cynamon, como também do tratamento de filtro anaeróbio, não pode ser desencorajada, tendo em vista que nos últimos anos, várias são as pesquisas que mostram a eficiência do processo, inclusive para efluente de laticínios.

A temperatura é um fator preponderante para a eficiência das bactérias anaeróbias e, consequentemente, do próprio tratamento. A tendência é que estudos relacionados a este parâmetro, principalmente na região onde se realizou este trabalho, permita tornar o processo mais próximo da realidade a qual estamos inseridos, tendo em vista que a maioria das normas e outros estudos tomam por base locais de temperaturas mais amenas.

As temperaturas registradas no sertão nordestino são favoráveis na maior parte do ano, mesmo no mês mais frio há uma boa atividade microbiana anaeróbia, o que torna muito vantajoso a utilização deste tratamento. A tendência é que se verifique os valores de temperatura de forma mais minuciosa, para que tenhamos dados cada vez mais específicos a realidade local.

Melhoras operacionais ao protótipo apresentado neste estudo, podem proporcionar um efluente com características do que se é desejado para o descarte em corpos receptores, e assim, as pequenas empresas passem a ter um sistema de tratamento de baixo custo e eficiente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Edson Junior Moreira de; GROSSI, Lara Jardim. **Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínios**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.
- ANDRADE, Laura Handam de. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - Minas Gerais, 2011.
- ANTONIAZZI, Roseli Capelina; RECH, Rosicler. **Creme de leite aromatizado**. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2011.
- AQUINO, Sérgio; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos. **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios**. 2006
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
- BACKES, Francisco José. **Avaliação da eficiência de um sistema fossa séptica e filtro anaeróbio em escala piloto para o tratamento de efluente sanitário com a adição de papel higiênico como fonte de matéria orgânica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.
- BARCELLOS, Camila Hübner; CARVALHO, Antonio R. P. **Tratamento biológico de efluentes**. Disponível em: http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_Biologico_de_Efluentes.pdf. Acesso em: 15 abr. 2017.
- BEGNINI, Beatriz Chinato; RIBEIRO, Heraldo Baialardi. Plano para redução de carga poluidora em indústria de laticínios. **Revista Interdisciplinar Saúde e Meio Ambiente**. v. 3, p. 19 – 30, 2014.
- BRASIL, CONAMA. **Resolução Nº 357 DE 17 DE MARÇO DE 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL, CONAMA. **Resolução N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011**. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Decreto n° 9.013, de 29 de março de 2017**. Regulamenta a Lei n° 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei n° 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Brasília: MAPA, 2017.

CAMMAROTA, Magali Christe. **Tratamento de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011. 72 p.

COSTA, Amália Michelle Gomes. **Desempenho de filtro anaeróbio no tratamento de efluente formulado com diferentes concentrações de soro de queijo**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-Minas Gerais, 2008.

CYNAMON: trajetória influencia políticas de saneamento, 2012. Informe ENSP, 2012. Disponível em: www.ensp.fiocruz.br/portal-ensp/informe/site/materia/detalhe/30454. Acesso em: 25 abr. 2017.

DANIEL, Devair Donizete. **Avaliação de Processos Biológicos Utilizados no Tratamento de Efluentes de Laticínios**. 2008. 62 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008.

DRAGONE, G., Mussatt, S. I., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A. Characterization of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. **Food Chemistry**. v.112, p. 929 – 935, 2009.

FAGUNDES, Thalita Salgado. **Uso de polímero natural a base de amido como auxiliar de floculação no pós-tratamento de efluentes UASB com flotação por ar dissolvido**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2010.

FELIPPE, Sheila Werner. **Caracterização e Tratabilidade do Efluente Líquido da Indústria de Laticínios Fortuna Ltda, Rio Fortuna-SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Apostila. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ, 2004.

GOMES, André Luiz. **Análise técnica e econômica de filtro anaeróbio utilizado para tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de laticínios – estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

HENARES, Juliana Ferreira. **Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 mai. 2017.

ICEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina**. Florianópolis, vários anos.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro, 2014.

KISPERGHER, Eduardo Muchiutti. **Digestão anaeróbia de efluentes da indústria de alimentos**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KOSER, Márcia. **Avaliação do desempenho do tratamento de efluente sanitário utilizando sistema de lodos ativados de fluxo contínuo e aeração intermitente**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2012.

LOBATO, Verônica. **Tecnologia de fabricação de derivados do leite na propriedade rural**, 2008.

MAGANHA, Martha Faria Bérnils. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos**. São Paulo: CETESB, 2006.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Artigo 2ª portaria 700/2012**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/1>. Acesso em: 20 mai. 2017.

MILAN, Gabriel Sperandio; VITORAZZI, Camila; REIS, Zaida Cristiane dos. Um estudo sobre a redução de resíduos têxteis e de impactos ambientais em uma indústria de confecção de vestuário. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 6, 2010, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2010.

SEREIA, Maria Josiane. **Planos de Aula - Tecnologia de Leites e Derivados**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

PANDEY, Pramod Kumar, et al. Efficacies of inocula on the startup of anaerobic reactors treating dairy manure under stirred and unstirred conditions. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2705-2720, 2011.

PESTANA, Marcelo; LYRA, Diógenes. **Tratamento de efluentes**. Centro Federal de Educação Tecnológica CEFET/BA, 2007.

PETRUZZI, Fernando Arriada. **Análise da concentração na indústria de laticínios no Brasil no período entre 2001 e 2011**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Econômicas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PRADO, Michella Christian do; CABANELLAS, Cláudia Figueiredo Garrido. **Eficiência do sistema alagado construído no tratamento de efluente de laticínios em relação a ultrafiltração e filtro biológico**. I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí. Bambuí – MG: 2008.

PRAZERES, Ana; CARVALHO, Fátima; RIVAS, Javier. Cheese Whey Management: a Review. **Journal of Environmental Management**, v.110, p.48-68, 2012.

REIS, J. S. et al. Fabricação de Derivados do Leite Como uma Alternativa de Renda ao Produtor Rural [Relatório]. – Lavras - MG: 2010.

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

ROQUE, Odir Clécio da Cruz, MELLO JUNIOR, Héio Andrade de Assis. **Eficiência dos filtros anaeróbios tipo cynamon no tratamento de esgotos**. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar114.pdf>. Acessado em: 20/05/2017.

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

SILVA, Arthur Ribeiro Borges. **Tratamento de Efluentes na Indústria de Laticínios**. 2013. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheiro Químico). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SILVA, Danilo José Pereira da. **Resíduos na Indústria de Laticínios**. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Viçosa, Minas Gerais, 2011. 20 p.

SILVA, Patrícia de Castro e. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como unidade de tratamento para efluente de suinocultura**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-Minas Gerais, 2014.

SILVA, F. K.; EYNG, J. Tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: Um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 1, n. 2, p. 4 – 22, Florianópolis, 2013.

SOUZA, Vicente P. de et. al. Interpretação dos parâmetros físico-químicos de efluentes gerados em sistemas do tipo rejeito-cobertura. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 2011, Gramado. **Anais [...]** Rio Grande do Sul, 2011.

SOUZA, Joel José de. **O complexo agroindustrial de laticínios no Brasil**: o caso da Região Sul. 2014. 289 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

VARGAS, Evandro Sadi; FIEGENBAUN, Joel. A evolução da agroindústria de laticínios no Brasil com base nos indicadores de estrutura, conduta e desempenho. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, ano 20, n. 42, p. 9-41, jan/jun. 2014.