

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**SARA LETÍCIA STOLFO DOS SANTOS**

**EFLUENTES DE LATICÍNIOS: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA E  
METANALÍTICA**

**DOIS VIZINHOS**

**2023**

**SARA LETÍCIA STOLFO DOS SANTOS**

**EFLUENTES DE LATICÍNIOS: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA E  
METANALÍTICA**

**Dairy effluents: a scientometric approaches and a meta-analytical**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia/Programa de Pós Graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Deborah Catharine De Assis Leite.

**DOIS VIZINHOS**

**2023**



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

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



---

SARA LETICIA STOLFO DOS SANTOS

**EFLUENTES DE LATICÍNIOS: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA E METANALÍTICA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Área de concentração: Biotecnologia.

Data de aprovação: 29 de Agosto de 2023

Deborah Catharine De Assis Leite, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Denise Da Piedade Silva, Doutorado - Oregon State University

Nedia De Castilhos Ghisi, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 01/09/2023.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela oportunidade concedida.

À UTFPR e ao PPGBIOTEC, por terem possibilitado a realização deste trabalho.

Aos professores que contribuíram através de seus conhecimentos técnicos e científicos, especialmente a minha orientadora, professora Deborah Catharine De Assis Leite, por todo apoio.

À minha família, pelo apoio incondicional e cuidado que sempre tiveram por mim.

Ao meu esposo Jonata Adria, pelo companheirismo em todos os momentos desta jornada, seu apoio foi fundamental.

À todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

O setor de lácteos é muito importante para a economia mundial, entretanto os efluentes gerados pelos laticínios são grandes poluidores. Diversos tratamentos podem ser aplicados para minimizar os impactos ambientais causados pelos efluentes, isso compreende uma temática de estudo de grande relevância. A fim de contribuir nessa temática, realizou-se uma revisão sistemática acerca dos efluentes de laticínio, composta de uma abordagem cienciométrica e uma abordagem metanalítica. Para a análise cienciométrica, foram buscados os termos "dairy effluent" e "dairy wastewater" na base Web of Science (WoS) no período de 1945 a 2021. A busca resultou em 1258 documentos, que foram filtrados manualmente, resultando em 1191 artigos. Os documentos foram classificados quanto ao idioma de publicações, número de publicações e citações em relação ao tempo, publicações por países, áreas de conhecimento, palavras-chave e publicações mais relevantes em relação ao número de citações. Os trabalhos foram separados de acordo com o método utilizado (físico-químico ou biológico), por fim, agrupados conforme o tratamento utilizado. Observou-se que o inglês foi o principal idioma usado nas publicações, a maioria em artigos; sendo a Índia o país com o maior número de publicações. O maior pico de publicações foi em 2021 e tem-se uma estimativa de crescimento no número de publicações e citações até 2030. A maioria dos trabalhos estão relacionados ao tratamento dos efluentes, sendo os processos biológicos os principais (70%). Dos tratamentos biológicos, destacaram-se processos que utilizam biorreatores, cultivo de microalgas ou plantas aquáticas, digestão anaeróbia, células combustíveis microbianas, enzimas, biofiltros e cultivo de microrganismos. Para a metanálise, considerando microbiomas de efluentes de laticínio, foram realizadas buscas no PubMed e no ENA em bancos de dados públicos de nucleotídeos, foram utilizados os termos "dairy wastewater" e "dairy effluent". Dos 11 estudos encontrados, foram selecionados 6 estudos abarcando um total de 126 amostras. Os estudos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios: estar relacionados a efluente de laticínio; ter sequenciamento do gene que codifica a região 16S da subunidade ribossomal (rDNA) realizado na plataforma Illumina; ter acesso aos dados físico-químicos das amostras. O processamento dos dados brutos de sequenciamento foi feito por meio do pacote de software QIIME 2, e sequências foram agrupadas em ASV, e classificadas usando o banco de dados SILVA. Foram realizadas análises de alfa- e beta-diversidade, abundância relativa e análise linear discriminante (LDA) do tamanho do efeito (LEfSe), e também *core* microbiano. O conjunto de dados foi categorizado com base no tipo de efluente, origem da amostra, tipo de tratamento, e tipo de reator. Os resultados apontaram alguns gêneros mais abundantes nessas categorias, sendo eles: *Bacteroidetes*, *Streptococcus*, *Lactococcus* e *Smithella*. Curiosamente os mesmos gêneros bacterianos que foram encontrados nas categorias são os mais prevalentes no *core*, indicando que tenham um papel chave nos efluentes de laticínios.

Palavras-chave: águas residuais de laticínio; cienciométrica; metanálise; microbioma de efluente.

## ABSTRACT

The dairy sector is very important for the global economy; however, dairy waste are significant polluters. Several treatments can be applied to minimize the environmental impacts caused by dairy effluents, which constitutes a highly relevant research theme. To contribute to this theme, a systematic review of dairy effluents was conducted, comprising scientometric and meta-analytic approaches. For the scientometric analysis, the terms "dairy effluent" and "dairy wastewater" were searched in the Web of Science (WoS) database for the period from 1945 to 2021. The search yielded 1258 documents, which were manually filtered to result in 1191 articles. The documents were categorized based on language of publication, number of publications and citations over time, publications by country, areas of knowledge, keywords, and most relevant publications based on citation count. The works were further separated according to the method used (physicochemical or biological) and finally grouped by treatment method. It was observed that English was the predominant language used in publications, with the majority being articles; India had the highest number of publications. The highest peak in publications occurred in 2021, and there is an estimated growth in the number of publications and citations up to 2030. Most of the works are related to effluent treatment, with biological processes being the primary focus (70%). Within the biological treatments, processes utilizing bioreactors, cultivation of microalgae or aquatic plants, anaerobic digestion, microbial fuel cells, enzymes, biofilters, and microorganism cultivation were highlighted. For the meta-analysis, considering microbiomes of dairy effluents, searches were conducted in PubMed and ENA in public nucleotide databases, using the terms "dairy wastewater" and "dairy effluent". Out of the 11 studies found, 6 were selected, encompassing a total of 126 samples. The studies were selected based on the following criteria: being related to dairy effluent, having gene sequencing of the 16S ribosomal subunit (rDNA) region conducted on the Illumina platform, and having access to physicochemical data of the samples. Processing of raw sequencing data was performed using the QIIME 2 software package, and sequences were clustered into ASVs and classified using the SILVA database. Analyses of alpha- and beta-diversity, relative abundance, linear discriminant analysis (LDA) effect size (LEfSe), and core microbial analysis were conducted. The dataset was categorized based on effluent type, sample origin, treatment type, and reactor type. The results identified some of the most abundant genera in these categories, including Bacteroidetes, Streptococcus, Lactococcus, and Smithella. Interestingly, the same bacterial genera found in the categories were also the most prevalent in the core, indicating that they play a key role in dairy effluents.

Keywords: dairy wastewater; scientometrics; meta-analysis; effluent microbiome.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais processos aplicados ao tratamento de efluentes de laticínios.....	21
Figura 2 - Distribuição global de publicações .....	29
Figura 3 - Rede de países com o maior número de publicações e áreas de conhecimento .....	32
Figura 4 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de efluente .....	50
Figura 5 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando a origem da amostra.....	53
Figura 6 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de tratamento .....	57
Figura 7 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de reator.....	59
Figura 8 – Core microbiano considerando a) gênero b) família.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1 - Número de publicações e citações entre 1975 e 2021, com projeções até 2030 .....</b>	<b>27</b>
<b>Gráfico 2 - Países com um explosões de citações entre 1975 e 2021 .....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfico 3 - Dados de frequência e centralidade das principais palavras-chave</b>	<b>34</b>
<b>Gráfico 4 - Explosões de citações de palavras-chave .....</b>	<b>35</b>
<b>Gráfico 5 - Categorias de trabalhos entre os anos 1975-2021.....</b>	<b>39</b>
<b>Gráfico 6 – Métodos de tratamento utilizados para efluentes de laticínios entre 1975 e 2021 .....</b>	<b>41</b>
<b>Gráfico 7 – Tratamentos Biológicos Encontrados na Revisão Cienciométrica 1975 .....</b>	<b>43</b>



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>A indústria de laticínios e a geração de efluentes</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Composição físico-química do efluente de laticínio</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Composição microbiológica do efluente de laticínio</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Riscos ambientais dos efluentes de laticínios</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO I: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Resumo</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Material e métodos</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	<b>25</b>
4.4.1	Número de publicações e citações por ano .....	26
4.4.2	Número de publicações por países .....	29
4.4.3	Análise de palavras-chave .....	33
4.4.4	Publicações mais relevantes .....	36
4.4.5	Número de publicações por categorias .....	39
4.4.6	Tipos de tratamentos .....	41
4.4.7	Tipos de tratamentos biológicos .....	42
<b>4.5</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO II: IDENTIFICAÇÃO DO CORE MICROBIANO DE DIVERSOS EFLUENTES DE LATICÍNIOS: UMA ABORDAGEM METANÁLITICA</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>Métodos da Pesquisa</b> .....	<b>47</b>
<b>5.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>49</b>
5.3.1	Tipo de efluente .....	49
5.3.2	Origem da amostra .....	52
5.3.3	Tipos de tratamentos .....	55
5.3.4	Tipos de reatores .....	58
5.3.5	Core microbiano .....	61

<b>5.4</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia láctea representa um setor importante para a economia do mundial, tendo em vista a geração de empregos e renda que proporciona. A indústria de alimentos é uma das maiores consumidoras de água durante o processo produtivo, gerando, em consequência disso, grande volume de efluentes (RAMJEAWON, 2000). Os efluentes gerados pelas indústrias de laticínios são grandes poluidores, também devido ao grande volume de água consumido nessas indústrias, uma vez que, para cada litro de leite processado são gerados de 1 a 6 litros de efluente (MAGANHA, 2006, VOURCH *et al.*, 2008).

Tais efluentes possuem composição variada, uma vez que são provenientes de diversas atividades desenvolvidas na indústria. Dentre os compostos podem ser observados resíduos de leite e ingredientes utilizados para obtenção dos derivados, além de produtos químicos e lubrificantes, advindos da higienização do local e equipamentos. Além disso, a alta concentração de proteínas, carboidratos, gorduras, sólidos em suspensão e nutrientes presentes no leite, resulta em efluente de laticínio com elevada carga orgânica e elevada demanda química (DQO) e bioquímica (DBO) de oxigênio (SILVA, 2011; PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012).

A geração de efluentes ocasiona alterações no meio ambiente, como modificar parâmetros de qualidade da água, pelo lançamento direto de efluentes em corpos hídricos sem tratamento (VON SPERLING, 2011). Considerando que os recursos naturais são limitados e devem ser utilizados conscientemente, a sociedade tem focado na preservação desses recursos para que as futuras gerações também possam usufruí-los (ANDRADE, 2011). Portanto, o manejo e destinação dos efluentes provenientes de indústrias de laticínios compreende uma temática de estudo de grande relevância. A composição variada desses efluentes e falta de precisão quanto a essas características, influenciam diretamente a eficácia dos diversos tratamentos físicos, químicos e/ou biológicos, que podem ser aplicados aos efluentes de laticínios (ALMEIDA; GROSSI, 2014; SILVA, SIQUEIRA, NOGUEIRA, 2018).

Os tratamentos de efluentes contam com etapas de pré-tratamento (como o gradeamento, que remove sólidos grosseiros, como coágulos de leite e restos de embalagens), tratamentos primários (removem sólidos, óleos e gorduras), tratamentos secundários (tratam da matéria orgânica e nutrientes), e tratamentos terciários (quando necessário). Considerando a elevada carga orgânica biodegradável desses

efluentes, os tratamentos secundários geralmente aplicam processos biológicos, mais frequentemente os aeróbios, como lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas. Também são utilizadas lagoas de estabilização da matéria orgânica, de diferentes tipos, como anaeróbias, facultativas, aeradas mecanicamente, de maturação ou polimento (ANDRADE, 2011; HENARES, 2015; VON SPERLING, 2011).

A caracterização da diversidade microbiana e a função do ecossistema são essenciais para entender e otimizar os processos biológicos de tratamento de águas residuais (PULIDO *et al.*, 2018). A importância da caracterização microbiológica dos efluentes está voltada também às possibilidades de biorremediação. Os microrganismos em geral apresentam grande potencial biotecnológico, pois atuam em processos de biorremediação, seja de forma direta na biodegradação ou na produção de compostos que contribuem com tratamentos de resíduos (POLONIO *et al.*, 2014).

A fim de contribuir com o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento dos tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios, o presente estudo apresenta uma abordagem cienciométrica sobre efluentes de laticínios, além de destacar os principais tratamentos aplicados a esses efluentes. Relacionado a isso, considerando a importância da caracterização da diversidade microbiana das águas residuais para otimização dos processos de tratamento de efluentes, serão avaliados os principais grupos microbianos que são comuns aos efluentes de laticínios, visando identificar o *core* microbiano, por meio de análise metanalítica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão sistemática acerca dos efluentes de laticínio, composta de uma abordagem cienciométrica e uma abordagem metanalítica.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar número de publicações e citações por ano e por país na área de estudo;
- Verificar as áreas de conhecimento mais relevantes associadas ao tema de estudo;
- Identificar os principais tratamentos utilizados em efluentes de laticínios;
- Descrever a alfa e beta diversidade microbiana de diferentes efluentes de laticínios;
- Descrever a composição dos microbiomas de diferentes efluentes de laticínios;
- Identificar microrganismos-chave (*core* microbiano) em efluentes de laticínios.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A indústria de laticínios e a geração de efluentes

As indústrias de laticínios se caracterizam pela junção de atividades com objetivo final de processar um insumo básico, o leite, que pode dar origem a outros produtos, como queijos, iogurtes, manteigas, sobremesas lácteas, dentre outros (ALVES, 2008). O leite é um substrato consumido por diversas culturas espalhadas pelo mundo todo, dentre os maiores produtores mundiais estão os Estados Unidos, a Índia, Brasil, União Europeia, e China (ROCHA; CARVALHO; RESENDE, 2020).

Acerca da taxa de produção de laticínios, a ascensão produtiva ocorreu a partir de 2013, onde o Brasil foi responsável pela geração de 34,3 milhões de toneladas de leite natural, tornando-se o quarto maior produtor mundial de laticínios em 2015. Apesar das restrições e medidas de prevenção ao Coronavírus, a quantidade de leite produzida no Brasil em 2020, aumentou 2,1% em relação a 2019, foram cerca de 25,5 bilhões de litros, sendo esse o melhor resultado da última década. O aumento do consumo de lácteos reflete em rentabilidade e serve de estímulo aos produtores (RENTERO *et al.*, 2021).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de leite, chegando a 35 bilhões de litros por ano. São mais de 1 milhão de propriedades (predominantemente pequenas e médias) produtoras de leite, distribuídas em 98% dos municípios brasileiros (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2023). Apenas no primeiro trimestre de 2022, foram industrializados aproximadamente 5,9 bilhões de litros (SIDRA, 2022). O setor compreende indústrias de vários portes, desde fábricas pequenas, até multinacionais e cooperativas com produção em maior escala (PEROBELLI; ARAÚJO; CASTRO, 2018).

O estado de Minas Gerais detém 27,11% da produção nacional de leite, enquanto o Paraná pode ser considerado o segundo maior produtor do Brasil, responsável por 12,45%, o maior da região Sul, tendo na região Sudoeste a maior bacia leiteira do Estado (O PARANÁ, 2018; RENTERO *et al.*, 2021). A bacia leiteira do Sudoeste paranaense se tornou a maior do Estado em produção, com cerca de 1,1 bilhão de litros de leite, identificando neste substrato um potencial gerador de renda e empregos (O PARANÁ, 2018).

O aumento da atividade industrial implica em diversos problemas ambientais, como a poluição do ar, contaminação da água, aquecimento global, dentre outros. As indústrias de laticínios, são potenciais poluidoras e causadoras desses problemas ambientais, os principais impactos são o lançamento de efluentes líquidos, a geração de resíduos sólidos e as emissões atmosféricas. O setor de alimentos destaca-se em relação ao grande volume de efluentes gerados, sendo que as empresas lácteas integram grande parte da indústria alimentícia (OLIVEIRA, 2006; POKRYWIECKI *et al.*, 2013; SARAIVA *et al.*, 2009).

Os efluentes da indústria de laticínios são resíduos ou despejos líquidos provenientes das diversas atividades realizadas pela indústria, incluindo processo de produção, higienização e esgotos sanitários (MACHADO; FREIRE; SILVA, 2000; SILVA 2011). Os laticínios são considerados como os mais poluidores dentre as indústrias do setor alimentício, devido ao grande consumo de água em seus processos que resulta em alta produção de resíduos líquidos, estima-se que para cada litro de leite processado são de 1 a 6 litros de efluente (VOURCH *et al.*, 2008; MAGANHA, 2006). Segundo estudo realizado por Vourch *et al.* (2008) sobre os processos de produção em 11 empresas de laticínios, o consumo de água está diretamente relacionado ao volume de leite processado, o consumo de água diário pode variar entre 800 a 3400 m<sup>3</sup> /dia com um valor médio de 1700 m<sup>3</sup> /dia.

### **3.2 Composição físico-química do efluente de laticínio**

Os efluentes lácteos podem conter leite e derivados do mesmo; além de açúcares, essências e condimentos utilizados na preparação dos derivados. Também lubrificantes, areia e produtos químicos, advindos da higienização da indústria. Produtos como detergentes, soluções ácidas e alcalinas, provocam alterações no pH do efluente (MACHADO; FREIRE; SILVA, 2000; SILVA 2011). Os processos de higienização da indústria, utilizam a água para lavagem de paredes e pisos, retirada de resíduos de leite, derivados e impurezas (como lubrificantes) de todos os equipamentos utilizados no processo de produção, como tanques de transporte e armazenamento, tubulações, mangueiras, dentre outros (PRINCE *et al.*, 1999).

Também contribuem para geração dos efluentes os descartes de soro, água de filagem, leiteiro e leite ácido; misturas de leite e água proveniente das máquinas, os vazamentos de leite nas tubulações ou derramamento nos equipamentos

(MACHADO *et al.*, 2002). O leite é composto principalmente por proteínas como a caseína; e carboidratos, principalmente lactose; também por gorduras, sólidos suspensos, e minerais. A lactose e as proteínas são consideradas facilmente biodegradáveis, embora algumas proteínas presentes no leite, como a caseína, sejam mais resistentes ao tratamento biológico. Isso confere aos efluentes de elevada concentração de óleos e graxas; altos teores de nutrientes, como nitrogênio e fósforo. (SILVA *et al.*, 2016; GONÇALVEZ, 2017).

Um dos principais produtos obtidos a partir do leite é o queijo. A fabricação compreende as etapas de pasteurização, coagulação, cozimento, filagem, enformagem, resfriamento, salga, embalagem e armazenamento. Em boa parte dessas etapas utiliza-se água, sendo que todas elas geram algum tipo de resíduo que contribui na composição do efluente final do laticínio (HENARES, 2015; CISLAGHI *et al.*, 2019). Para se ter uma visão dos tipos de resíduos que são gerados nos processos produtivos das indústrias de laticínios, o Quadro 1 apresenta as principais etapas do processamento de queijo mussarela com suas respectivas contribuições para o efluente final do laticínio.

**Quadro 1 - Resíduos gerados nas principais etapas da produção de queijo mussarela**

<b>Etapas</b>	<b>Resíduos gerados</b>
Resfriador	<i>Clean in place</i> (CIP) (soda, ácido nítrico), resíduos de leite, água
Pasteurizador	CIP (soda, ácido nítrico), resíduos de leite, água
Centrífuga, preparo leite e massa	Detergente neutro, resíduos de leite
Mesa	Detergente neutro, resíduos de massa, água
Filagem	Detergente neutro, resíduos sólidos (coalho, cloreto de cálcio e fermento láctico), água
Formas	Detergente alcalino (soda), resíduos de massa, água
Salga	Água, sorbato, sal, resíduos de queijo
Secagem	Água, sorbato, sal
CIP e lavador de caminhões, plataforma e limpeza da fábrica	Soda, ácido nítrico, cloro, detergente, produtos de limpeza, resíduos de leite, queijo, terra, água

**Fonte: Adaptado de Henares (2015)**

Um dos resíduos gerados na fabricação de queijos é o soro do leite, que não deveria ser descartado junto aos demais resíduos líquidos, como é feito em muitos laticínios. O soro é composto de muitos nutrientes e apresenta elevada carga orgânica, pode ser considerado cerca de 100 vezes mais poluente que o esgoto doméstico. Além disso, as águas de refrigeração e o condensado das caldeiras



geralmente são recirculadas e reaproveitadas, porém em laticínios menores, esse reaproveitamento nem sempre é realizado (SILVA, 2011).

A composição química dos efluentes de laticínios é bastante diversa, podendo variar em função da escala de produção das indústrias, o que justifica as variações de parâmetros como pH, sólidos totais, DQO, DBO, dentre outros (SILVA, 2011). Um parâmetro importante na caracterização de efluentes é a Demanda Química de Oxigênio (DQO), principalmente quando se trata de poluição. A DQO mede o oxigênio consumido durante a oxidação química da matéria orgânica, tendo intensa relação com a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio, que é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica bioquimicamente) pode servir como principal indicador de eficiência dos processos de tratamento (HENARES, 2015). Além disso, a relação entre a DQO e DBO fornece um dado importante quanto à biodegradabilidade do efluente, utilizado na escolha do tratamento adequado. A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização de efluentes de laticínios, retirados da literatura, para comparação.

**Tabela 1 - Resultados da caracterização de efluentes de laticínios em trabalhos da literatura**

	Andrade (2011)	Borges, Costa, Gontijo (2018)	Henares (2015)	Maculan <i>et al.</i> (2016)	Silva <i>et al.</i> (2016)
pH	11,7	8,3	5,7	12,5	8,9
Turbidez (NTU)	2266,0	-	853,0	944,0	445,0
DBO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	2515,0	4155,0	680,0	1780,0	1067,5
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	5319,0	11151,8	1371,0	4143,4	3698,1
SST (mg L <sup>-1</sup> )*	1600	268,0	-	-	637
SSF (mg L <sup>-1</sup> )*	1200	-	-	-	-
SSV (mg L <sup>-1</sup> )*	1100	-	-	-	-
Óleos e graxas totais (mg L <sup>-1</sup> )	-	987,0	-	-	278,3

\*Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)  
**Fonte: Autoria própria (2023)**

Essa ampla variação dos resultados de caracterização obtidos por esses autores, podem ser justificadas pela escala de produção das indústrias, devido à grande variedade de produtos obtidos a partir do leite, ou seja, a produção de diferentes produtos em diferentes dias, implica na variação da composição química do efluente (SILVA, 2011).

### 3.3 Composição microbiológica do efluente de laticínio

Uma alternativa ao lançamento de efluentes em corpos hídricos é a reutilização em algumas etapas dos processos produtivos, que deve respeitar o padrão de qualidade de águas residuárias para reúso. Essa possibilidade é um recurso importante para diminuir a exploração dos mananciais, substituindo a água potável por água de qualidade inferior, quando aplicável (MORAIS; SANTOS, 2020). Segundo a Portaria do Ministério da Saúde nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, uma amostra de água é considerada potável se estiver com ausência de microrganismos do grupo dos coliformes. Sendo que a seleção de microrganismos de referência para avaliação de qualidade da água difere entre países e regiões. Além disso, a pesquisa de bactérias do grupo dos coliformes é importante pois a presença desses microrganismos tem relação com a higiene durante os processos de fabricação nas indústrias (ANDRADE *et al.*, 2008).

Coliformes totais são bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporuladas, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose produzindo gás, a 35 °C entre 24 a 48 horas. Essas bactérias são predominantemente da família Enterobacteriaceae, e pertencem aos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Já os coliformes termotolerantes consistem em grupo de coliformes capazes de fermentar a lactose produzindo gás, em 24 horas em temperatura entre 44,5-45,5°C (SALES *et al.*, 2015; MADIGAN *et al.*, 2016).

As bactérias coliformes podem ser encontradas nas fezes dos mamíferos, também na vegetação e no solo que tenham recebido contaminação fecal recente. Apenas a presença de coliformes totais na água não significa que esta esteja comprometida, mas pode indicar a presença de bactérias potencialmente patogênicas. A bactéria *Escherichia coli* é considerada o melhor indicador de poluição fecal, sendo a principal espécie do grupo dos coliformes termotolerantes, encontrada no trato intestinal do homem e animais homeotérmicos (ANDRADE; BARROS, 2019).

Galvão e Gomes (2018) relataram a presença de microrganismos termotolerantes em efluente obtido em uma unidade de laticínios localizada na região oeste do Estado do Paraná. Nesse estudo os autores avaliaram a eficiência dos processos de separação por membranas na remoção de nutrientes, microrganismos e matéria orgânica do efluente, obtendo resultados satisfatórios com até 100% de remoção dos microrganismos termotolerantes. Para os autores, a presença desses

microrganismos pode ser associada ao contato dos operadores com a água durante o processo produtivo, portanto a remoção de microrganismos do efluente é muito importante para possibilitar a reutilização das águas residuais.

Teixeira (2020) também relata a presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes em águas residuárias de um laticínio localizado no município de Orizona, no sudeste do Estado de Goiás. Ele estudou a disposição do efluente de laticínios no solo, como alternativa ao lançamento em corpos hídricos, tendo em vista a degradação ambiental causada pelo lançamento inadequado do efluente no curso de água.

Sabe-se que cada efluente apresenta características de acordo com sua fonte de geração (PALANISAMY; GAJENDIRAN; MANI, 2021). Os altos teores de DQO, associado a baixas concentrações de oxigênio nos efluentes de laticínios, levam ao crescimento de bactérias filamentosas. Além disso, a proporção desequilibrada de nitrogênio, fósforo e DQO prontamente biodegradáveis favorecem o crescimento excessivo de espécies de *Thiothrix*, por exemplo (HENRIET *et al.*, 2017). As bactérias do gênero *Thiothrix* são filamentosas, capazes de oxidar compostos de enxofre reduzidos, formam rosetas e têm a capacidade de depositar grânulos de enxofre intracelular. As espécies de *Thiothrix* podem ser encontradas em vários habitats, como estações de tratamento de águas residuais de lodo ativado, onde sua presença contribui para o problema de volume de lodo filamentoso, principal, motivo de estudos referentes à espécie (HOWARTH, 1999).

Lai, Hess e Mitloehner (2018) realizaram um estudo avaliando a mudança na microbiota de efluente de um laticínio através do processo de vermifiltração. Essa mudança na microbiota prevaleceu ao nível dos filos, com *Proteobacteria* tornando-se o mais abundante e *Bacteroidetes* tornando-se menos abundante. O filo *Proteobacteria* é característico da água, sendo o grupo filogenético mais extenso e com maior diversidade fisiológica do domínio Bactéria; é dividido em cinco classes: Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria, Deltaproteobacteria e Epsilonproteobacteria. As bactérias do filo Bacteroidetes por sua vez, podem ser encontradas em diversos habitats e apresentam características quimiorganotróficas, além disso são capazes de degradar vários polímeros, como celulose, quitina, pectina (RUIZ, 2014).

O conhecimento e caracterização dos tipos de microrganismos são essenciais para otimização dos tratamentos que envolvem processos biológicos (PULIDO *et*

*al.*,2018). Entretanto, ainda há poucos trabalhos caracterizando microbioma dos efluentes de laticínios (LOGAN *et al.*, 2022; KIM, CHOI, LEE, 2022; ALALAM *et al.*, 2022; LEMBO *et al.*, 2020; MCATEER *et al.*, 2020; HENRIET *et al.*, 2017; PULIDO *et al.*, 2018; LAI, HESS, MITLOEHNER, 2018; NOYES *et al.*, 2016).

A importância da caracterização microbiológica dos efluentes está voltada também às possibilidades de biorremediação. Esses processos ocorrem de diferentes formas, por bioestimulação, onde é feita adição de nutrientes para estimular a própria microbiota nativa da área contaminada; ou por bioaugmentação, inoculando linhagens microbianas com capacidade de tratar rejeitos. Também existem os processos que são realizados em sistemas fechados como biorreatores, com melhor controle das condições de crescimento. Sendo assim, os microrganismos como um todo apresentam grande potencial biotecnológico, pois atuam em processos de biorremediação de diversas formas, seja diretamente na biodegradação ou na produção de compostos que contribuem com tratamentos de resíduos (POLONIO *et al.*, 2014).

### **3.4 Riscos ambientais dos efluentes de laticínios**

Os efluentes lançados em cursos hídricos sem devido tratamento, ou aplicados de forma inadequada no solo causam sérios danos ao meio ambiente, podem tornar o solo e as águas superficiais e subterrâneas, impróprios para o uso (RODRIGUES,2004). Alguns dos problemas gerados pelos efluentes de laticínios são a eutrofização, proliferação de microrganismos, maus odores, formação de compostos tóxicos, dentre outros (VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007).

A composição variada dos efluentes de laticínios resulta em elevada carga orgânica, altas taxas de DQO e DBO e grande quantidade de nutrientes (PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012). O excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo que estão presentes naturalmente em corpos hídricos e são fundamentais na cadeia alimentar, provoca a eutrofização dos corpos hídricos. O aumento excessivo de nutrientes na água, pode ser causado por drenagem de fertilizantes agrícolas, águas pluviais de cidades, detergentes, resíduos de minas, drenagem de dejetos humanos, entre outros (BARRETO *et al.*, 2013).

A eutrofização provoca problemas como alteração no sabor, odor, turbidez e na cor da água, redução do oxigênio dissolvido, que causa o crescimento excessivo

de plantas aquáticas, morte de peixes e outras espécies aquáticas, além de comprometer as condições mínimas para a sobrevivência na água. A eutrofização ainda pode contribuir para a florações de algas, principalmente as cianobactérias potencialmente tóxicas, que podem alterar a qualidade das águas (SMITH, SCHINDLER, 2009; BARRETO *et al.*, 2013).

Outro impacto que os efluentes de laticínios podem causar, está relacionado a sua aplicação nos solos. A aplicação dos efluentes de laticínios em solos produtivos é uma alternativa para o descarte das águas residuais e controle da poluição por elas causadas, proporciona vários benefícios relacionados a ciclagem de nutrientes e redução de custos ligados a fertilização (TEIXEIRA, 2020). Os nutrientes presentes nos efluentes podem ser absorvidos pelas plantas, que depois são consumidas pelos animais, depois disso ocorrem perdas para a atmosfera através da volatilização da amônia da urina e esterco desses animais (RAGHUNATH, 2016). Entretanto, se a aplicação do efluente no solo for realizada de forma incorreta ou em excesso pode causar efeitos tóxicos as plantas, infiltração de água no solo e contaminações tanto no solo quanto nas águas superficiais e subterrâneas (ERTHAL *et al.*, 2010).

A quantidade de efluente a ser aplicada no solo deve ser definida considerando o nutriente presente em maior concentração e quanto desse nutriente a cultura precisa. Caso essa relação não seja respeitada, pode haver comprometimento da produtividade dessa cultura. As alterações provocadas no solo pela aplicação das águas residuais estão relacionadas as quantidades de nutrientes, como carbono, nitrogênio, cálcio, magnésio, dentre outros; e também alteração da atividade dos microrganismos presentes (FONSECA *et al.*, 2007).

A destinação dos efluentes de qualquer forma poluidora, incluindo tanto o lançamento em corpos de água receptores quanto a disposição de efluente de laticínios em solos precisa ser feita respeitando critérios ambientais e agrônômicos (ERTHAL *et al.*, 2010; RODRIGUES, 2004).

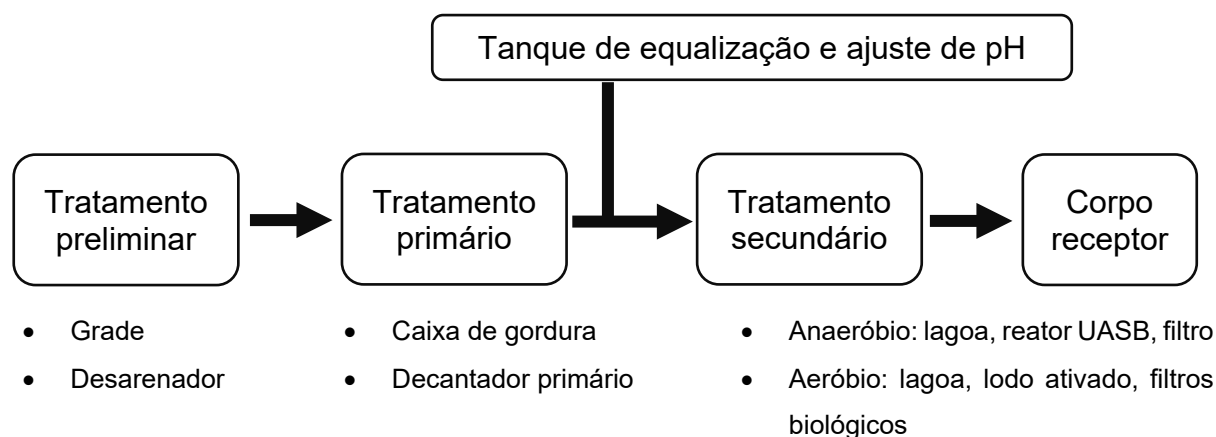
### **3.5 Tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios**

Geralmente o tratamento aplicado aos efluentes de laticínios engloba as etapas de pré-tratamento (normalmente o gradeamento, para a remoção de sólidos grosseiros, como coágulos de leite e restos de embalagens), tratamentos primários (removem sólidos, óleos e gorduras), tratamentos secundários (tratam da matéria

orgânica e nutrientes), por fim tratamentos terciários (que não são aplicados em todos os casos) (ANDRADE, 2011). A Figura 1 apresenta um resumo dos principais processos de tratamento aplicados nos efluentes de laticínios.

Tratamentos primários aplicam processos como decantação, que reduz em parte a matéria orgânica presente no efluente, removendo sólidos em suspensão; também a filtração; floculação e coagulação. Existe ainda o processo de flotação, muito usual para efluentes de laticínios, que consiste na separação de misturas através da introdução de bolhas de ar a suspensão de partículas; as partículas por sua vez aderem-se a essas bolhas, formando uma espuma, que pode ser facilmente removida (ANDRADE, 2011; MARCONDES, 2012).

**Figura 1 - Principais processos aplicados ao tratamento de efluentes de laticínios**



**Fonte: Adaptado de Messias (2015)**

Considerando a elevada carga orgânica biodegradável que os efluentes de laticínios apresentam, os tratamentos secundários geralmente aplicam processos biológicos, mais frequentemente os aeróbios, como lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas (ANDRADE, 2011). Também são utilizadas lagoas de estabilização, em que ocorre estabilização da matéria orgânica, que podem ser de diferentes tipos, como anaeróbias, facultativas, aeradas mecanicamente, de maturação ou polimento. Essas lagoas, entretanto, utilizam-se de áreas relativamente grandes (HENARES, 2015).

A concentração de matéria orgânica presente em efluentes de laticínios, proveniente das diversas etapas de processamento do leite, dificulta seu tratamento, pois apesar dessa matéria ser biodegradável, contém altos teores de gordura que podem dificultar os tratamentos, principalmente no caso de processos biológicos.

Essas características, aumentam a demanda de oxigênio necessária para degradação aeróbia, o que resulta em maior demanda energética para a etapa secundária de tratamento (SOARES; QUITÉRIO; VENDRAMEL, 2018).

Para Machado (2011), tratamentos terciários servem como polimento do efluente tratado, quando a carga poluente ainda é alta, ou quando se pretende reutiliza-lo. Buscam a remoção de sólidos em suspensão, cor, carga orgânica residual, sais minerais, metais tóxicos e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Exemplos desse tratamento para efluente de laticínios, são processos de adsorção de carvão ativo, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, remoção de nutrientes e organismos patogênicos, também oxidação química (FERREIRA, 2007).

## 4 ESTUDO I: ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA DE EFLUENTES DE LATICÍNIOS

### 4.1 Resumo

O setor leiteiro é muito importante para a economia global. No entanto, os laticínios são grandes poluidores pois, para cada litro de leite processado, são gerados de um a seis litros de efluentes. Esses efluentes têm composição variada, resultado das diferentes atividades desenvolvidas na indústria. Se lançados diretamente em corpos d'água sem tratamento adequado, os efluentes podem causar alterações ambientais, como mudanças nos parâmetros de qualidade da água. O gerenciamento dos efluentes das indústrias de laticínios constituem um tópico de estudo de grande relevância. Portanto, vários tratamentos têm sido estudados e podem ser aplicados para minimizar os impactos ambientais causados pelos efluentes. A fim de contribuir com essa temática, este estudo apresenta uma abordagem cienciométrica, e destaca os principais tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios. Os termos "dairy effluent" e "dairy wastewater" foram pesquisados na base de dados Web of Science (WoS) em todos os campos pesquisáveis, incluindo os anos de 1945 a 2021, todos os idiomas de publicação e cinco tipos de documentos. A pesquisa resultou em 1258 documentos, que foram filtrados manualmente, resultando em 1191 artigos. Os dados foram analisados usando o software CiteSpace e o Microsoft Excel. Os documentos foram classificados com base no idioma de publicação, número de publicações e citações ao longo do tempo, publicações por países, áreas de conhecimento, palavras-chave e as publicações mais relevantes em relação ao número de citações. Posteriormente, foi realizada outra filtragem manual dos documentos, selecionando aqueles que empregaram alguma forma de tratamento de efluentes. Os trabalhos foram categorizados de acordo com o método utilizado (físico, químico ou biológico). A revisão cienciométrica destacou o inglês como o idioma principal, com a maioria em artigos, e a Índia como o país com mais publicações. O pico mais alto de publicações foi em 2021, e há um crescimento estimado no número de publicações e citações até 2030. A maioria dos trabalhos está relacionada ao tratamento de efluentes, sendo a maioria processos biológicos (70%). Dentre os tratamentos biológicos, destacaram-se os biorreatores, cultivo de microalgas ou plantas aquáticas, digestão anaeróbica, células combustíveis microbianas, enzimas, biofiltros e cultivo de microorganismos.



## 4.2 Introdução

As indústrias de laticínios produzem uma ampla variedade de alimentos, também ao longo do processo produtivo são gerados efluentes de composições diversas e complexas. Eles contêm desde resíduos de leite e seus derivados até produtos químicos utilizados nos processos de limpeza de máquinas, equipamentos e na própria indústria. Esses fatores conferem a esses efluentes uma alta carga orgânica e potencial poluente (PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012).

A maioria das fábricas de pequeno e médio porte não possui processos de tratamento de efluentes bem estabelecidos, descartando esses resíduos em cursos d'água. Se liberados sem o devido tratamento, os efluentes de laticínios causam alterações nos corpos d'água e impactos significativos no ecossistema, como eutrofização, proliferação de microrganismos, odores desagradáveis, formação de compostos tóxicos, entre outros. Portanto, muitos métodos são aplicados para reduzir a carga poluente dos efluentes de laticínios. Os tratamentos de efluentes consistem em uma série de processos que eliminam contaminantes. Para selecionar o tratamento adequado, é necessário detalhar as características do efluente para definir os parâmetros e, a partir deles, concentrar-se no que deve ou não ser removido (AZZOLINI; FABRO, 2013; VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007).

Diante disso, Estações de Tratamento de Efluentes geralmente utilizam pré-tratamento e tratamento primário. Os pré-tratamentos aplicam processos físicos, como peneiramento, para remover sólidos grosseiros. Os tratamentos primários têm como objetivo remover sólidos em suspensão e materiais flutuantes utilizando técnicas de coagulação/floculação, decantação e flotação. Enquanto os tratamentos secundários são baseados em processos biológicos para a remoção de matéria orgânica, alguns exemplos são lagoas de estabilização, lodo ativado, etc. Por fim, os tratamentos terciários se concentram na eliminação de poluentes específicos; eles não se aplicam em todos os casos; são tratamentos avançados que dependem do grau de purificação da água que se deseja alcançar (HENARES, 2015).

Considerando a complexidade dos efluentes de laticínios e a variedade de tratamentos que podem ser aplicados para reduzir a carga poluente desse efluente. A cienciometria é uma ferramenta que pode ser usada para relacionar os diferentes estudos sobre o assunto. Nesse sentido, este estudo apresenta uma revisão cienciométrica dos efluentes de laticínios, relacionando os anos e países com mais

publicações e citações, bem como as áreas do conhecimento. Além disso, é realizada uma análise dos principais tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios, categorizados de acordo com o princípio utilizado, trabalhos que utilizam diferentes processos, tratamentos individuais ou uma combinação de dois ou mais.

### **4.3 Material e métodos**

A base de dados utilizada para a pesquisa foi a Web of Science (WoS). Usando os termos de busca "dairy effluent" e "dairy wastewater", em todos os campos pesquisáveis. Foram incluídos os anos de 1945 a 2021, todos os idiomas de publicação e cinco tipos de documentos (Artigo, Artigo de Conferência, Artigo de Revisão, Artigo de Acesso Antecipado e Artigo de Dados). A pesquisa resultou em 1258 documentos e, em seguida, foi realizada uma filtragem manual para manter apenas os artigos relevantes para a pesquisa, aqueles que se referem aos efluentes de laticínios. Essa filtragem excluiu 67 trabalhos que não atenderam aos critérios de seleção, resultando em 1191 estudos na lista marcada.

Após a filtragem e conclusão da lista de publicações, os dados foram analisados usando o software CiteSpace e o Microsoft Excel. Os documentos foram classificados de acordo com o idioma das publicações; número de publicações e citações ao longo do tempo, com previsão de publicações e citações para os próximos anos; número de publicações por países; áreas do conhecimento; palavras-chave e as publicações mais relevantes em relação ao número de citações. Além disso, foi realizada outra filtragem manual dos documentos, selecionando aqueles que utilizaram algum tipo de tratamento de efluentes. Em seguida, os trabalhos foram separados de acordo com o método utilizado (físico, químico ou biológico) e, finalmente, agrupados de acordo com o tipo de tratamento utilizado.

### **4.4 Resultados e discussão**

Os dados referentes aos 1191 artigos resultantes da pesquisa foram analisados quanto ao tipo de documento, idioma, publicações e citações por ano, países, áreas de conhecimento, palavras-chave e número de citações. Além disso, os tipos de tratamentos aplicados ao efluente lácteo em cada trabalho foram classificados manualmente. Dos cinco tipos de documentos classificados (artigos, artigos de

conferência, artigos de revisão, acesso antecipado e artigos de dados), a maioria são artigos, representando 91,18%.

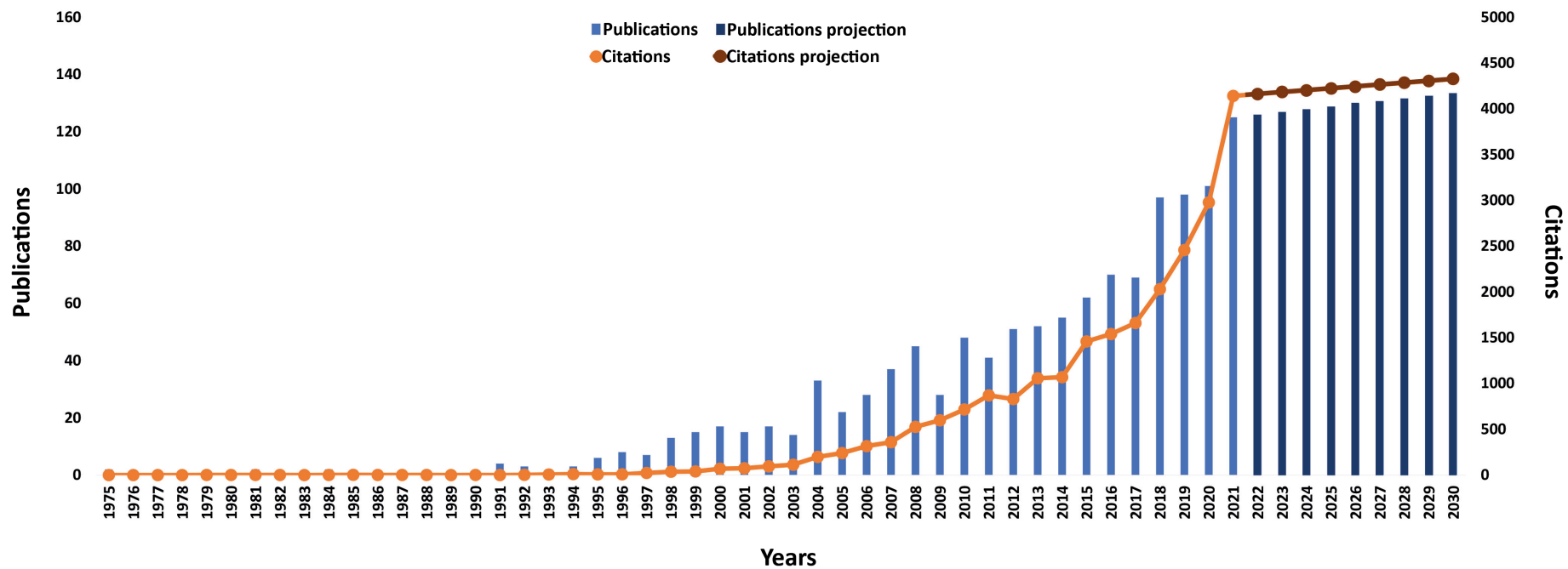
O idioma com o maior número de publicações foi o inglês (97,40%). Esse fato ocorre não apenas porque este idioma é considerado uma língua global, mas também porque, de acordo com Di Bitetti (2017), o idioma em que um artigo é publicado pode ser considerado um aspecto essencial na escolha do trabalho a ser citado por um determinado autor. Portanto, publicar em inglês aumenta as chances de ser citado; também é conveniente que a ciência possa se comunicar por meio de uma única língua, compartilhando conhecimento e permitindo que os pesquisadores colaborem por meio de suas pesquisas.

#### 4.4.1 Número de publicações e citações por ano

O Gráfico 1 mostra o número de publicações sobre efluentes lácteos por ano a partir de 1975 (o ano da primeira publicação referente aos dados pesquisados) até 2021. Observa-se que o número de publicações relacionadas ao tratamento de efluentes das indústrias de laticínios aumentou significativamente a partir de 1998, oscilando ao longo de alguns anos. Além disso, os maiores números de publicações foram obtidos nos anos de 2020 e 2021 (101 e 125, respectivamente).

Em 1848, a atenção foi direcionada para o tratamento de esgoto após um surto de cólera na Inglaterra que resultou em cerca de 25.000 mortes. O lançamento de esgoto não tratado em corpos d'água causou uma poluição hídrica em grande escala devido ao fato de os rios serem curtos e o crescimento populacional estar se acelerando. Desde 1950, grandes avanços tecnológicos e pesquisas permitiram a aplicação de técnicas mais sofisticadas para o tratamento de efluentes, utilizando estudos de crescimento cinético e cálculos de dimensionamento (CAVALCANTI, 2020). Esses fatos corroboram com o resultado observado no Gráfico 1, de que o número de estudos publicados tem aumentado desde a década de 90. Demonstrando a crescente preocupação com o gerenciamento de resíduos e novas tecnologias, que podem minimizar seus impactos ambientais. Muitos métodos têm sido estudados para se tornarem cada vez mais eficientes (ANDRADE, 2011; ALMEIDA; GROSSI, 2014).

Gráfico 1 - Número de publicações e citações entre 1975 e 2021, com projeções até 2030



Fonte: Autoria própria (2023)

Em 2009, houve uma diminuição no número de publicações sobre efluentes lácteos. O que pode estar relacionado tanto com processos bem estabelecidos nos anos anteriores, quanto à atenção dada à pandemia de Influenza A. A pandemia foi declarada em processo de disseminação internacional pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em junho de 2009. O surto de Influenza A começou no México e se espalhou rapidamente para países ao redor do mundo, durando até agosto de 2010 (COSTA, HAMANN, 2016). Já em 2010, esse número de publicações aumentou, esse ano foi marcado por uma série de catástrofes ambientais (terremotos, tsunamis, erupções, etc.) em todo o mundo, deixando milhares de vítimas. Esse desequilíbrio pode estar relacionado ao aquecimento global, bem como aos impactos ambientais causados pela atividade humana (BARBOSA, 2014). O estudo dos tratamentos de efluentes contribui como uma forma de mitigar esses impactos.

O ano de 2018 também foi marcado por catástrofes em todo o mundo, incluindo terremotos, tsunamis, inundações, erupções vulcânicas e ondas de calor, entre outros eventos resultantes do aquecimento global causado pela atividade humana (BARBOSA, 2018). O estudo de alternativas para o tratamento de efluentes é uma forma de contribuir para mitigar esses impactos. Além disso, de acordo com a análise da situação dos biocombustíveis para o ano de 2019 realizada pela Empresa de Pesquisa Energética, que presta serviços ao Ministério de Minas e Energia, em 2019, foram alcançadas as maiores produções de etanol (36 bilhões de litros) e biodiesel (5,9 bilhões de litros). Esses fatos podem estar relacionados a esse aumento no número de publicações.

Em 2021, houve um aumento significativo nas publicações, como visto no Gráfico 1. O relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) destaca as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade, a poluição e o desperdício. De acordo com o relatório, 9 milhões de pessoas morrem anualmente devido à poluição, além de 1 milhão de espécies de plantas e animais ameaçados de extinção. Ele também informa que 400 milhões de toneladas de metais pesados e produtos químicos são lançados nas águas anualmente. O relatório também coloca os planos para retomar a pandemia de covid-19 como uma oportunidade de investir na recuperação desses impactos causados à natureza (CHIARETTI, 2021).

Outro dado essencial no Gráfico 1 é o aumento estimado de publicações e citações sobre efluentes lácteos até 2030. Uma pesquisa realizada pela The Nature Conservancy em parceria com a Universidade de Minnesota e outras 11 instituições

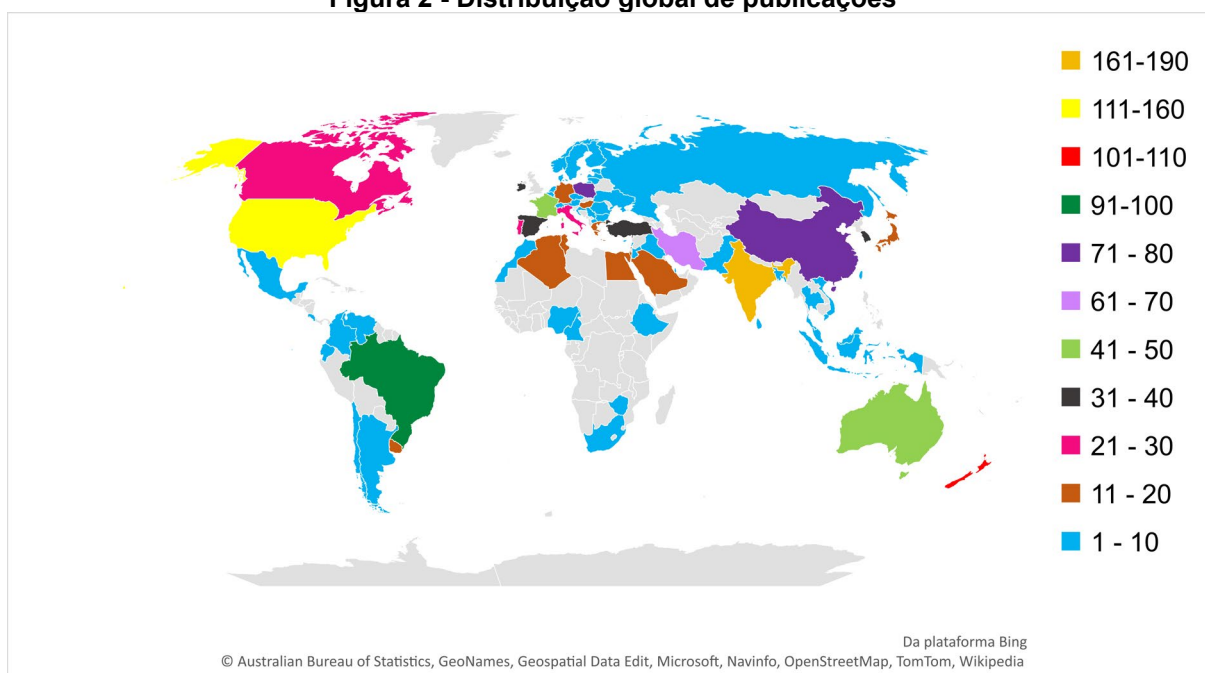
em 2019 aponta para uma perspectiva de crescimento da população mundial para 10 bilhões até 2050, o que aumentará significativamente a demanda por recursos naturais e intensificará as mudanças climáticas. A pesquisa demonstra que combinar sustentabilidade com esse crescimento será necessário para atender à crescente demanda por alimentos, energia e água.

O aumento estimado de publicações e citações sobre efluentes lácteos até 2030 também está relacionado aos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos em 2015 na Assembleia Geral das Nações Unidas. De acordo com o site do Supremo Tribunal Federal, a agenda 2030 da Organização das Nações Unidas é um plano global para o desenvolvimento sustentável com objetivos e metas a serem alcançados até 2030. O aumento das pesquisas com o objetivo de reduzir os impactos ambientais causados pelos efluentes e promover formas sustentáveis de uso dos recursos naturais pode contribuir para o cumprimento desses objetivos.

#### 4.4.2 Número de publicações por países

A Figura 2 mostra os países onde os estudos sobre efluentes lácteos foram publicados. A Índia possui o maior número de publicações (183), seguida pelos Estados Unidos com 160 artigos, Nova Zelândia com 106 e Brasil com 94 publicações.

**Figura 2 - Distribuição global de publicações**



**Fonte: Aatoria própria (2023)**

Com 183 publicações sobre efluentes de laticínios no período de pesquisa, a Índia é o maior produtor de leite do mundo, com mais da metade de sua produção proveniente de búfalos e uma predominância de produção em pequena escala. A maior parte desse leite é consumida no país, e como muitos indianos são vegetarianos, eles usam o leite como uma fonte essencial de proteína. Cerca de 60% do leite produzido na Índia é usado para obter produtos como ghee, manteiga e iogurte (LANDES *et al.*, 2017).

Em segundo lugar, com 160 publicações sobre efluentes de laticínios, fica os Estados Unidos, o terceiro maior produtor de leite de vaca do mundo. Alguns fatores que contribuem para esse resultado são a grande quantidade de terras, os recursos naturais disponíveis, bem como as práticas agrícolas modernas e eficientes utilizadas no país, onde a produção familiar predomina, com a maioria das fazendas de laticínios sendo gerenciadas por famílias (NAVARRO; PEDROSO, 2012).

Em terceiro lugar no número de publicações, a Nova Zelândia é uma referência internacional na produção de laticínios com alta qualidade e confiabilidade. Ela é responsável por 3% da produção global, exportando cerca de 95% de sua produção (SEIXAS, 2019). O isolamento geográfico, as condições do solo, o clima, a água e a alta tecnologia tornam a Nova Zelândia ideal para a produção de leite. Com sistemas de irrigação e melhoramento genético, a eficiência do sistema de laticínios aumentou significativamente, garantindo matéria-prima de alta qualidade (RISTOW, 2018). Devido ao grande volume produzido, o país deve se preocupar com a geração de resíduos desses processos, atuando em seu tratamento e destino.

O Brasil, por sua vez, aparece em quarto lugar, com 94 publicações sobre o assunto. O setor lácteo é significativo para a economia brasileira devido à geração de empregos e renda. É um setor amplo e diversificado, com indústrias de diversos tamanhos, incluindo pequenas fábricas com baixo volume de produção até multinacionais e cooperativas com produção em maior escala (PEROBELLI; ARAÚJO; CASTRO, 2018). Atualmente, o país é o terceiro maior produtor de leite do mundo (MAPA, 2022), com o estado de Minas Gerais sendo o principal produtor, enquanto o Paraná pode ser considerado o segundo maior produtor do Brasil (SIDRA, 2020).

Além disso, o Gráfico 2 traz dados referentes as explosões de citações em 6 países. A maior explosão de citações é observada nos Estados Unidos, entre os anos de 1991 a 2010.

**Gráfico 2 - Países com um explosões de citações entre 1975 e 2021**  
**Top 6 Countries with the Strongest Citation Bursts**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

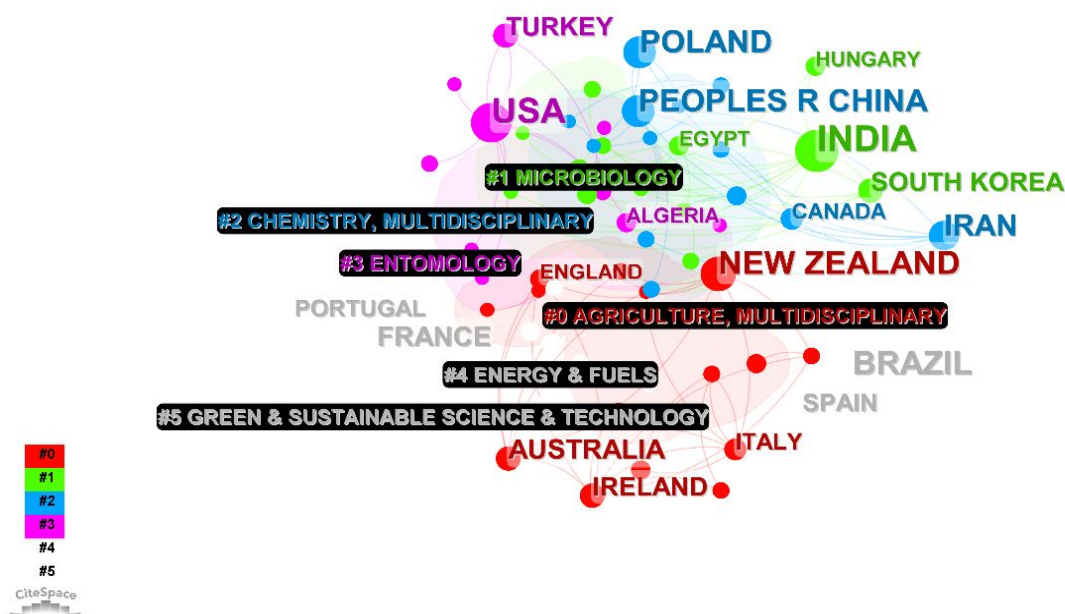
O segundo pico mais alto ocorre na Nova Zelândia, entre 1998 e 2008, e parte desses trabalhos envolveu a aplicação de efluentes de laticínios no solo (DI; CAMERON, 2002; MONAGHAN *et al.*, 2007; MONAGHAN; SMITH, 2012). A aplicação de efluentes de fazendas leiteiras (FDE) e efluentes de laticínios no solo é muito comum na Nova Zelândia. O FDE é o efluente resultante da lavagem da ordenha, portanto, além de restos de leite, ele contém fezes, urina, solo, ração e água. Esse efluente possui uma alta carga orgânica com muitos nutrientes, sendo assim uma alternativa para melhorar a fertilidade do solo (LI *et al.*, 2015).

A Figura 3 mostra as redes formadas pelos países com o maior número de publicações, identificados pelo tamanho da fonte, destacando a Índia, Estados Unidos e a Nova Zelândia. Também são exibidos dados de centralidade de cada um, representada pelos círculos, relacionada ao número de conexões que um país possui com os outros, destacando sua relevância em relação à rede (DANUELLO; OLIVEIRA, 2012). Como observado, Índia, Estados Unidos e a Nova Zelândia também se destacam com maior centralidade, indicando maior relação com outros países.

Na Figura 3 ainda são apresentados dados referentes às áreas de conhecimento das publicações por grupos de países. São cinco principais áreas de conhecimento identificadas por cores e ordem de importância (#0 vermelho, #1 verde, #2 azul, #3 lilás, #4 e #5 cinza). As áreas predominantes são agricultura, microbiologia e química, o que significa que elas têm uma maior visibilidade na área de tratamentos aplicados aos efluentes de laticínios.



Figura 3 - Rede de países com o maior número de publicações e áreas de conhecimento



Fonte: Autoria própria (2023)

A principal área de conhecimento é agricultura multidisciplinar, identificado pela cor vermelha. Os principais países que fazem parte desse grupo são a Nova Zelândia, Austrália, Irlanda, Itália e Inglaterra, as publicações desses países estão relacionadas principalmente a área da agricultura, sendo o principal deles, a Nova Zelândia. A área de agricultura está ligada à aplicação de efluentes das indústrias de laticínios como fertilizantes para o solo, inclusive essa é uma prática muito comum na Nova Zelândia, como já comentado anteriormente. Esses efluentes são compostos por nutrientes como Nitrogênio e Fósforo, matéria orgânica e água; portanto, eles têm um grande potencial para substituir insumos químicos (MANONO; MOLLER; MORGAN, 2016).

Já nos países destacados em verde, sendo o principal deles a Índia, as publicações se relacionam principalmente com a área de Microbiologia, que é a segunda mais relevante. Os efluentes de laticínios contêm vários microrganismos relacionados aos impactos ambientais causados pelos efluentes. Sabe-se que, se lançados em corpos d'água sem tratamento adequado, os microrganismos presentes nos efluentes causam muitos problemas, como eutrofização, maus odores, formação de compostos tóxicos, entre outros (VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007). Além disso,

os microrganismos presentes nesses efluentes também influenciam nas diferentes aplicações dos efluentes.

Publicações relacionadas a área da química multidisciplinar são destaque em países como a China, Polônia, Irã e Canadá, destacados pela cor azul. Já nos Estados Unidos da América (EUA), Turquia e Argélia destacam-se publicações da área de entomologia. Enquanto que no Brasil, França, Portugal e Espanha, os estudos sobre efluentes de laticínios estão relacionados com as áreas de energia e combustíveis, e também ciência e tecnologia verde e sustentável. Essas áreas de conhecimento exploram as diversas aplicações dos efluentes de laticínios.

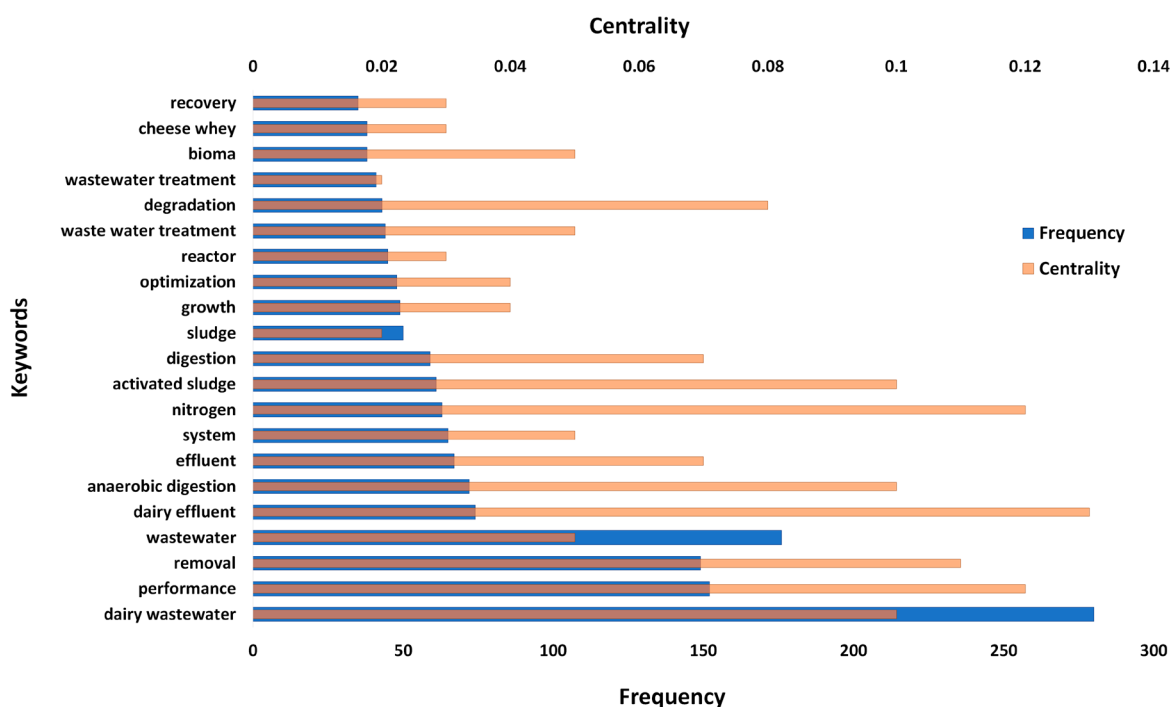
A diversidade de microrganismos e nutrientes presentes nos efluentes de laticínios, possibilitam aplicações industriais, obtenção de combustíveis, como o biodiesel (BEHERA *et al.*, 2019), produção de enzimas e biorremediação (MCKAY; DONAGHY, 1995; ZACARIA, GAIROLA; SHARIFF, 2010). Além da aplicação como biofertilizantes, como alternativa ao uso de fertilizantes químicos e também aos tratamentos de efluentes, reduzindo a área necessária e os custos associados (SHANG *et al.*, 2010; TEIXEIRA, 2020)

#### 4.4.3 Análise de palavras-chave

Além de serem essenciais para indexar artigos de pesquisa em bancos de dados, as palavras-chave refletem o tema das publicações de pesquisa. Portanto, mapear todas as palavras-chave em um conjunto de publicações pode fornecer informações sobre as principais áreas de pesquisa em um determinado campo. O Gráfico 3 mostra as palavras-chave mais representativas entre as 1191 publicações sobre efluentes de laticínios, classificando-as de acordo com a frequência com que aparecem e também apresenta dados de centralidade.

A palavra-chave com a maior frequência é o termo "águas residuais de laticínios", enquanto o de maior centralidade é "efluente de laticínio". Muitos trabalhos usam esses termos ao se referirem aos efluentes gerados nos processos de produção das indústrias. De acordo com Bule, Suaréz e Gulamussen (2018), o termo "efluente" se refere a qualquer volume de água que teve suas características alteradas após uso doméstico, comercial ou industrial, cujo grau de impureza varia de acordo com seu uso.

**Gráfico 3 - Dados de frequência e centralidade das principais palavras-chave**



Fonte: Autoria própria (2023)

A palavra-chave "desempenho" aparece em terceiro lugar tanto em termos de frequência quanto de centralidade, dado que muitos estudos utilizam esse termo ao avaliar o desempenho de tratamentos aplicados a efluentes de laticínios. Em seguida, aparece o termo "remoção", relacionado à remoção de contaminantes dos efluentes de laticínios e à remoção de nutrientes (PANG *et al.*, 2020; VALENCIA-GICA; YOST; PORTER, 2012; HOSSEINI *et al.*, 2021) como o Nitrogênio, que é a segunda palavra-chave com maior centralidade.

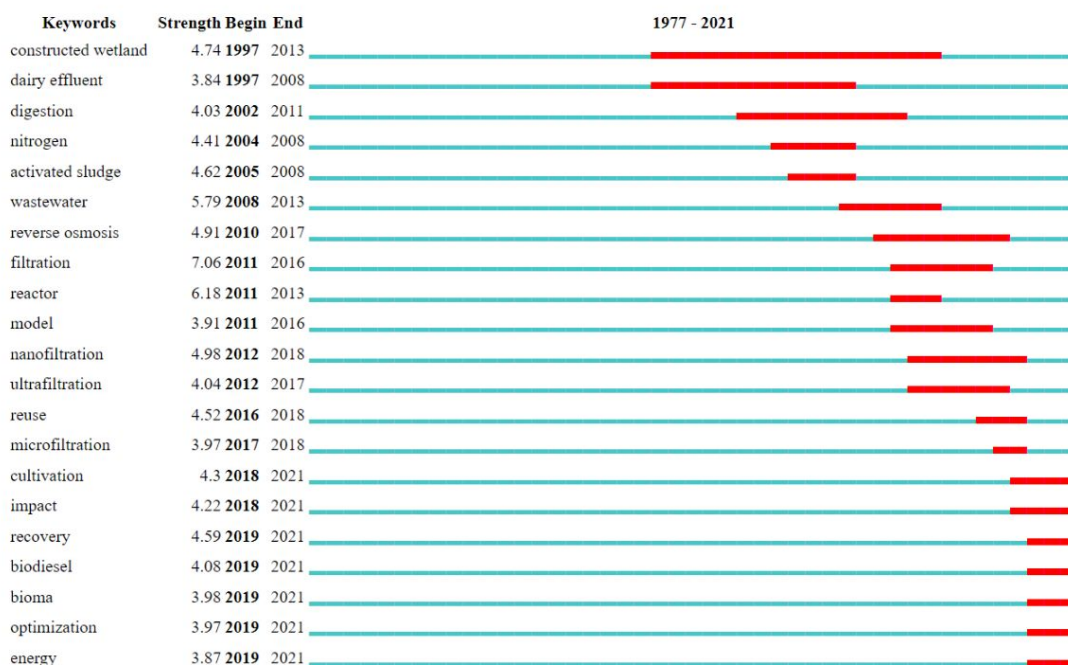
O nitrogênio é um dos nutrientes presentes nos efluentes de laticínios, contribuindo para a eutrofização de ambientes aquáticos (TAUFER, MULLER, HILGEMANN, 2016). No entanto, a presença de nutrientes também implica na aplicação desses efluentes como biofertilizantes (FAN *et al.*, 2017; MANONO; MOLLER; MORGAN, 2016; MCLEOD *et al.*, 2014). O nitrogênio é um dos principais nutrientes para as plantas, que também o absorvem através do solo. Geralmente, a quantidade de nitrogênio no solo é insuficiente para suprir as necessidades das plantas; portanto, é necessário aplicar fertilizantes nitrogenados (SANTOS, 2020).

A palavra-chave "digestão anaeróbia" é a quinta com maior centralidade e o termo "digestão" aparece novamente com uma das maiores centralidades. O processo de digestão anaeróbia é um dos principais tratamentos aplicados aos efluentes de

laticínios, utilizando microrganismos para converter a matéria orgânica presente no efluente em biogás (LIEBETRAU *et al.*, 2017). Outro tratamento usado entre as palavras-chave mais centrais é o processo de lodo ativado, que também utiliza microrganismos para degradar a matéria orgânica nos efluentes de laticínios (VON SPERLING, 2011). Relacionada a isso, a palavra-chave "degradação" também aparece com uma das maiores centralidades.

O Gráfico 4, por sua vez, fornece dados sobre explosões de citações de palavras-chave. A maior explosão é observada para o termo "wetlands construídas", entre os anos de 1997 a 2013. Esses sistemas imitam a natureza para tratar efluentes; alguns exemplos de wetlands naturais são pântanos, manguezais e áreas alagadas. As wetlands construídas abrigam plantas aquáticas e, por meio delas, contaminantes podem ser removidos dos efluentes; além disso, existem diferentes configurações para esses sistemas em relação ao tipo de fluxo, vertical ou horizontal (MOHAMMED; ISMAIL, 2021; SHARMA *et al.*, 2021).

**Gráfico 4 - Explosões de citações de palavras-chave**  
**Top 21 Keywords with the Strongest Citation Bursts**



Fonte: Autoria própria (2023)

O termo "efluente de laticínios" aparece como segundo em explosão de citações, relacionado ao fato de ser um dos termos buscados na pesquisa científica e à palavra-chave "efluente". Outras palavras-chave que aparecem

com explosões de citações consideráveis são os termos: "digestão", "nitrogênio" e "lodo ativado", que já foram discutidos anteriormente como relacionados aos efluentes de laticínios.

O Gráfico 4 mostra alguns processos de separação usados no tratamento de efluentes de laticínios que estão entre as palavras-chave com as maiores explosões de citações, como a osmose reversa, nanofiltração, ultrafiltração e filtração. A osmose reversa concentra substâncias de baixo peso molecular usando alta pressão; pode ser usado em processos de dessalinização e como nanofiltração, que divide soluções heterogêneas e solutos dissolvidos no meio líquido, separando moléculas de massa molar média. Existem também membranas de microfiltração que separam partículas em suspensão. A ultrafiltração (UF) realiza o fracionamento de sólidos suspensos de alto peso molecular, como proteínas presentes no leite (QUEIROZ, 2017).

Esses processos de filtração são comuns em reatores de membrana biológica (BRM) que combinam reações biológicas com processos de separação por membrana, que podem ser de microfiltração (MF) ou ultrafiltração (UF), buscando reter sólidos em suspensão. Comparados ao sistema de lodo ativado, esses reatores podem operar com maiores concentrações de sólidos em suspensão e lodo mais antigo. Por esse motivo, há menor produção de lodo e, conseqüentemente, custos reduzidos com instalação, tratamento e disposição final, além de um volume de reator reduzido. Além disso, a eficiência na remoção de poluentes é maior para esse tipo de reator (BERNHARD *et al.*, 2006).

#### 4.4.4 Publicações mais relevantes

A Tabela 2 apresenta dados relacionados às publicações consideradas mais relevantes na pesquisa, considerando o número de citações como critério de seleção. São mostrados os títulos de cada trabalho, autores, periódico em que foram publicados, ano de publicação e fator de impacto (JCR) do periódico. Esses dados são considerados até o ano de 2021.

**Tabela 2 - Publicações mais relevantes em termos de número de citações**

<b>Título</b>	<b>Autores</b>	<b>Revista</b>	<b>Ano</b>	<b>JCR</b>	<b>Citações</b>
1 - Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy, effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico	Kathryn D Brown, Jerzy Kulis, Bruce Thomson, Timothy H Chapman, Douglas B.Mawhinney	Science of The Total Environment	2006	10,75	535
2 - Fouling characterisation in membrane bioreactors	El Hani Bouhabila Roger Ben Aim Hervé Buisson	Separation and Purification Technology	2001	9,13	357
3 - Cheese whey wastewater: Characterization and treatment	Fátima Carvalho Ana R. Prazeres Javier Rivas	Science of the Total Environment	2013	10,75	331
4 - Algae Grown on Dairy and Municipal Wastewater for Simultaneous Nutrient Removal and Lipid Production for Biofuel Feedstock	Woertz, I; Feffer, A; Lundquist, T; Nelson, Y.	Journal of Environment Engineering-ASCE	2009	2,47	329
5 - Effect of various pretreatment methods on anaerobic mixed microflora to enhance biohydrogen production utilizing dairy wastewater as substrate	Srinivasula Reddy Venkata Mohan; V. Lalit Babu; P.N. Sarma	Bioresource Technology	2008	11,88	268
6 - Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse	Sarkar, Baisali; Chakrabarti, Prodosh Prasad; Kale, Vijay S.	Desalination	2006	11,21	229
7 - Dairy wastewater, aquaculture, and spawning fish as sources of steroid hormones in the aquatic environment	Kolodziej, Edward; Harter, Thomas; Sedlak, David L.	Environmental Science & Technology	2004	11,35	218
8 - Multiplex fluorogenic real-time PCR for detection and quantification of Escherichia coli O157: H7 in dairy wastewater wetlands	A. Mark Ibekwe Pamela M. Watt, Catherine M. Grieve, Vijay K. Sharma, Steven R. Lyons	Applied and Environmental Microbiology	2002	5,00	205
9-Anaerobic biohydrogen production from dairy wastewater treatment in sequencing batch reactor (AnSBR): Effect of organic loading rate	S. Venkata Mohan, V. Lalit Babu, P.N. Sarma	Enzyme and Microbial Technology	2007	3,70	191
10 - The role of plants in the removal of nutrients at a constructed wetland treating agricultural (dairy) wastewater, Ontario, Canada	N. Gottschall; C. Boutin; A. Crolla; C. Kinsley; P. Champagne	Ecological Engineering	2007	4,37	188

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O principal trabalho, com 535 citações, foi publicado em 2006 na revista "Science of The Total Environment", com um fator de impacto de 10,75. O estudo aborda a ocorrência de antibióticos em efluentes hospitalares, efluentes residenciais, efluentes de laticínios e águas residuais municipais. Enquanto também determina a remoção de antibióticos em uma estação de tratamento. De acordo com os autores Brown *et al.* (2006), os antibióticos podem induzir efeitos genotóxicos, alterar a ecologia aquática, promover a resistência a antibióticos e dificultar o desenvolvimento de tecnologias de reutilização de água.

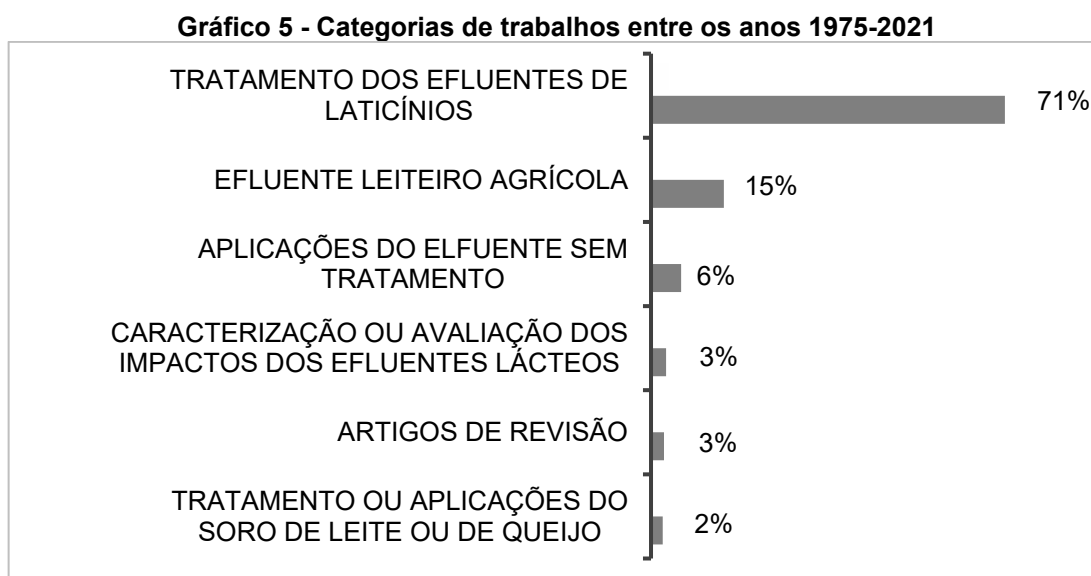
O segundo trabalho mais citado foi publicado em 2001 na revista "Separation and Purification Technology", com fator de impacto de 9,13. Ele aborda a incrustação de membranas que ocorre em biorreatores de membrana que tratam efluentes de laticínios sintéticos. Sendo a incrustação a principal limitação para o desenvolvimento desse processo. De acordo com os autores Bouhabila, Aim e Buisson (2001), os biorreatores de membrana oferecem vantagens em termos de eficiência de biodegradação e redução da produção de lodo. No entanto, seu desenvolvimento é limitado pela incrustação de membranas durante a filtração de lodo ativado, o que reduz o fluxo de filtração e, conseqüentemente, o fluxo de água do efluente. Isso implica em custos adicionais devido à necessidade de limpar ou substituir membranas obstruídas. Portanto, há necessidade de mais estudos nessa área.

O terceiro trabalho da lista foi publicado em 2013 na revista "Science of The Total Environment", com um fator de impacto de 10,75. Aborda a caracterização e tratamento de efluentes de soro de queijo. Esse tipo de efluente possui uma composição variada, carga orgânica e salina elevadas, e sua geração pode atingir até quatro vezes o volume de leite processado (CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013). Este estudo apresenta a caracterização desse efluente e discute os tratamentos aplicados, sendo os principais processos a digestão aeróbica e anaeróbica.

Os demais estudos na Tabela 3 também discutem tratamentos aplicados a efluentes de laticínios e podem ser facilmente encontrados na base de dados WoS. A partir dos trabalhos citados, foi possível observar os diversos estudos relacionados a esse tipo de efluente e sua importância. Esses estudos discutem os impactos que podem surgir a partir de efluentes de laticínios não tratados e fornecem alternativas, muitas vezes visando reduzir os custos associados ao tratamento, bem como aprimorar a facilidade de aplicação.

#### 4.4.5 Número de publicações por categorias

Os 1191 trabalhos resultantes da pesquisa foram classificados manualmente em seis categorias. O Gráfico 5 mostra essas categorias e a porcentagem de trabalhos incluídos em cada uma delas.



**Fonte: Autoria própria (2023)**

O maior grupo (Tratamento) representa 71% (845 trabalhos), que envolveram alguma forma de tratamento para efluentes de laticínios, incluindo processos biológicos e físico-químicos. O fato de a maioria dos trabalhos estar relacionada a tratamentos pode ser explicado pela diversidade de processos aplicados aos efluentes de laticínios, incluindo etapas de pré-tratamento (como peneiração para remover sólidos grosseiros como coágulos de leite e restos de embalagem), tratamentos primários, secundários e terciários (ANDRADE, 2011).

Tratamentos primários removem sólidos, óleos e gorduras, reduzindo parcialmente a matéria orgânica do efluente. Empregam processos como sedimentação, filtração, floculação, coagulação e flotação (ANDRADE, 2011; MARCONDES, 2012). Os tratamentos secundários tratam da matéria orgânica e nutrientes, frequentemente utilizando processos biológicos, principalmente aeróbios, como lodo ativado, filtros biológicos e lagoas aeradas. As lagoas de estabilização também são utilizadas, estabilizam a matéria orgânica por meio de processos anaeróbicos, facultativos, mecanicamente aerados, de maturação ou polimento (HENARES, 2015). Por fim, tratamentos terciários são uma etapa de polimento para



o efluente tratado quando a carga poluente permanece alta. São aplicados processos como adsorção em carvão ativado, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, oxidação química, entre outros (MACHADO, 2011; FERREIRA, 2007).

O segundo maior grupo, de 15% (174 trabalhos), se refere ao tratamento ou alguma forma de aplicação para Efluente Leiteiro Agrícola (ADE), que não é o mesmo que Efluente de Laticínios (DE). Como o presente estudo se concentra em trabalhos relacionados aos efluentes da indústria de laticínios, onde ocorre o processamento do leite, os trabalhos relacionados a ADE foram separados, mas não foram excluídos da pesquisa. O ADE resulta da lavagem das salas de ordenha e pode conter fezes, urina, solo, ração, leite e água. Esse efluente contém nutrientes significativos e pode ser aplicado para melhorar a fertilidade do solo, uma prática comum na Nova Zelândia (LI *et al.*, 2015). Além disso, a maioria desses trabalhos foi realizada na Nova Zelândia, que ficou em terceiro dentre os países com o maior número de publicações sobre efluentes de laticínios, como indicado pelos dados apresentados anteriormente.

O terceiro grupo abrange trabalhos que obtiveram algum tipo de produto a partir do efluente de laticínios, totalizando 72 artigos (6%). Devido à composição variada dos efluentes de laticínios e à alta carga orgânica e de nutrientes, eles têm potencial para diversas aplicações (MANONO; MOLLER; MORGAN, 2016). Nestes trabalhos, o efluente foi utilizado na produção de biochar, isolamento de bactérias para produção de biodiesel, enzimas e o efluente como meio de cultura para fermentações e como fertilizantes para o solo, substituindo insumos químicos.

O quarto grupo engloba estudos que caracterizaram o efluente de laticínios e trabalhos que avaliaram os impactos ambientais causados pelos efluentes de laticínios. Há 36 trabalhos nesse grupo, o que corresponde a 3% do total. Sabe-se que os efluentes de laticínios podem ser altamente poluentes, capazes de causar danos significativos ao meio ambiente, tornando potencialmente impraticável o uso do solo e da água. Isso demonstra a necessidade de buscar tratamentos eficazes que permitam um descarte adequado (SILVA *et al.*, 2016). O quinto grupo, por sua vez, concentra-se em estudos de revisão relacionados a efluentes de laticínios, totalizando 31 trabalhos, o que corresponde a 3% dos resultados.

O sexto grupo consiste em trabalhos que realizaram tratamento ou alguma forma de aplicação tanto para soro de leite quanto para soro de queijo, totalizando 28 trabalhos (2%). O soro de leite pode representar até 90% do volume de leite, retendo alguns de seus nutrientes. As indústrias de laticínios o produzem em quantidades

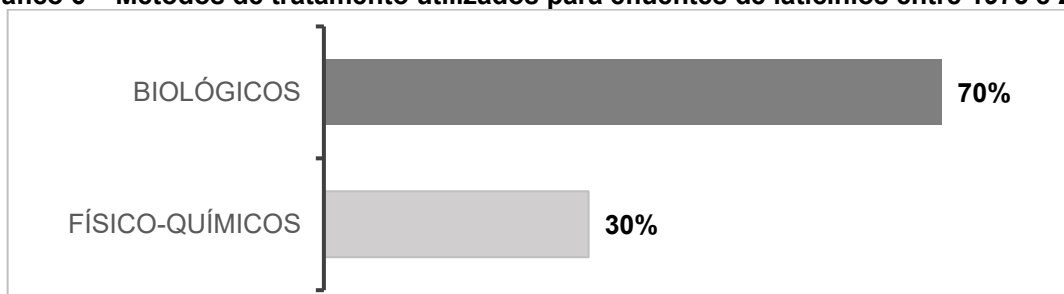
substanciais, uma vez que 9 kg de soro de leite são produzidos para cada 1 kg de queijo. Esse subproduto tem baixo valor econômico e pode ser descartado ou reaproveitado. O descarte inadequado de soro de leite não tratado constitui um dano ambiental, considerando a grande quantidade de matéria orgânica nele contida. Algumas alternativas incluem o tratamento em sistemas de efluentes, o uso como fertilizante ou a transformação em subprodutos de maior valor, como a produção de ácido láctico por meio da fermentação da lactose no soro de leite.

Por fim, apenas cinco trabalhos não puderam ser categorizados devido à falta de acesso ao resumo ou ao artigo completo. Estes são estudos mais antigos, datando dos anos 1975, 1976, 1984 e 1993, o que pode explicar a falta acesso ao conteúdo.

#### 4.4.6 Tipos de tratamentos

Diferentes métodos de tratamento de resíduos surgiram ao longo do tempo. De acordo com Cavalcanti (2020), em períodos anteriores, por volta do século XIX e início do século XX, os métodos físico-químicos eram mais populares, incluindo diluição, sedimentação e tratamento químico e eletrolítico. Após o surgimento da Royal Commission on Sewage Disposal em 1898, foram feitos avanços tecnológicos significativos no tratamento de águas residuais. O Gráfico 6 mostra as porcentagens encontradas para tratamentos físico-químicos e biológicos. A porcentagem para tecnologias que utilizam métodos biológicos para o tratamento de efluentes de laticínios é de 70%, enquanto para os métodos físico-químicos, a taxa foi de 30%.

**Gráfico 6 – Métodos de tratamento utilizados para efluentes de laticínios entre 1975 e 2021**



Fonte: Autoria própria (2023)

Os efluentes das indústrias de laticínios apresentam alta concentração de matéria orgânica biodegradável. Logo, tratamentos biológicos são os mais utilizados, com processos aeróbios sendo mais prevalentes. Destaque é dado para lodo ativado,

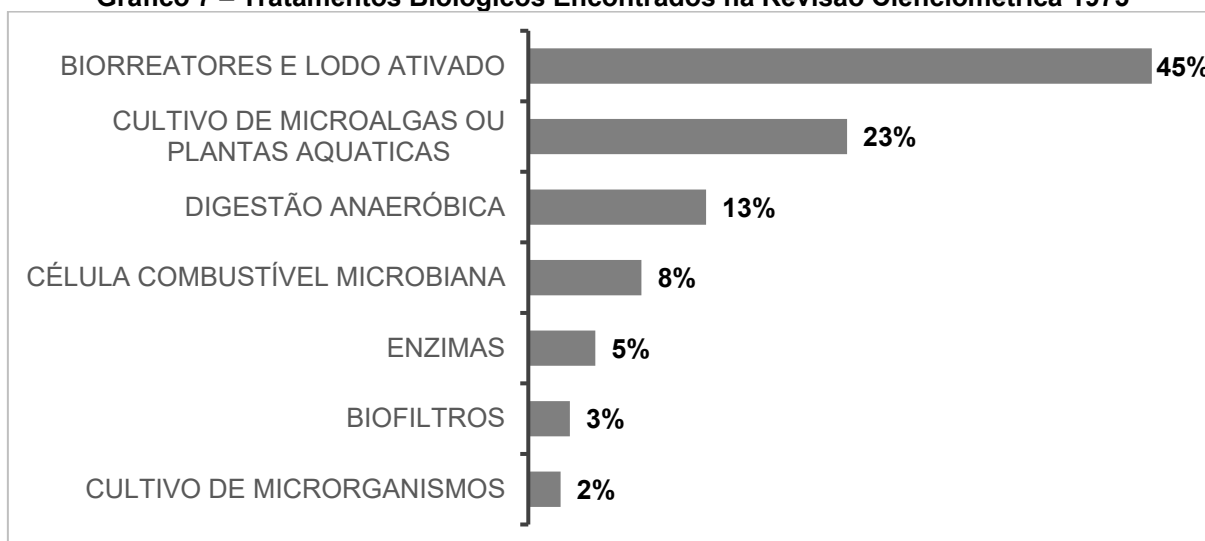
filtros biológicos e lagoas aeradas (BRAILE; CAVALCANTE, 1993). O uso de processos biológicos tradicionais para tratar efluentes da indústria de laticínios demonstra eficácia em alcançar os padrões de descarga exigidos pelas regulamentações atuais (ALMEIDA; GROSSI, 2014).

O tratamento biológico de efluentes, seja aeróbio ou anaeróbio, é facilitado pela ação de agentes biológicos como bactérias, protozoários e algas. Esse tipo de tratamento se destaca como uma das alternativas mais econômicas e eficientes para promover a degradação da matéria orgânica. O tratamento anaeróbio, utiliza bactérias que não necessitam de oxigênio para a respiração, diferentemente do tratamento aeróbio, onde os microrganismos degradam substâncias orgânicas por meio de processos oxidativos. Considerando que os compostos produzidos nos processos da indústria de alimentos são ricos em carga orgânica, levando à geração de resíduos com perfil semelhante, é vantajoso aplicar processos biológicos a esses tratamentos de efluentes (TERA, 2021; ALMEIDA; GROSSI, 2014).

#### 4.4.7 Tipos de tratamentos biológicos

Dentro da categoria de tratamento, a classificação de trabalhos que utilizam alguma forma de tratamento biológico alcançou a maior porcentagem (70%). O Gráfico 7 ilustra os tipos de tratamentos biológicos encontrados dentro desta categoria, com porcentagens mais altas para aqueles que utilizam Biorreatores e lodo ativado (45%) e cultivo de microalgas ou plantas aquáticas (23%).

Entre os tipos de tratamentos biológicos encontrados na Gráfico 7, 45% correspondem ao uso de Biorreatores. Esses estudos incluem a avaliação de desempenho, cinética, modelagem e análise hidrodinâmica desses reatores. Biorreatores são recipientes onde ocorrem reações biológicas envolvendo microrganismos, enzimas ou células vivas. Condições adequadas são fornecidas para favorecer funções desejadas dos organismos presentes, controlando parâmetros operacionais como pH, temperatura, agitação, entre outros, e assim atingir a eficiência ótima. Existem várias configurações de biorreatores, levando em consideração o sistema biológico de crescimento celular, metabolismo, expressão de proteínas, etc. (YOUNG, 2011).

**Gráfico 7 – Tratamentos Biológicos Encontrados na Revisão Cienciométrica 1975**

Fonte: Autoria própria (2023)

Um tipo comum de reator biológico é o sistema de Lodo Ativado, onde ocorrem reações de remoção da matéria orgânica, utilizando microrganismos. Muito utilizado devido à alta eficiência e flexibilidade operacional. Quanto ao tempo de retenção de sólidos (idade do lodo), é classificado em duas frentes: lodo ativado convencional e lodo ativado de aeração prolongada. No tipo convencional, a idade do lodo varia de 4 a 10 dias, resultando em biomassa com alto teor de matéria orgânica, exigindo tratamento subsequente de estabilização. Na aeração prolongada, a idade do lodo é maior, possivelmente até 30 dias, resultando em mais biomassa do reator. A estabilização do lodo ocorre no próprio tanque de aeração, sem necessidade de uma etapa adicional de tratamento do lodo (VON SPERLING, 2011).

O segundo maior grupo, com 138 estudos (23%), compreende artigos sobre o uso de efluentes de laticínios como meio para cultivar microalgas ou plantas aquáticas. Essa aplicação tem se mostrado uma alternativa viável, pois reduz custos associados ao uso de produtos químicos caros para o crescimento de algas. As microalgas também são conhecidas por sua capacidade de bioremediar toxinas de efluentes, reduzindo os riscos ambientais de contaminação de corpos d'água por efluentes industriais (KUMAR, *et al.*, 2019). Sendo que os efluentes de laticínios contêm altas concentrações de nitrogênio e fósforo, principais fontes de nutrientes para as microalgas. Além disso, a biomassa de algas se torna um subproduto para combustíveis, ração e a indústria alimentícia, gerando outros subprodutos de valor agregado (KUMAR *et al.*, 2019; LAGE *et al.*, 2019).

Outro tipo de tratamento evidente a partir do Gráfico 7 é a digestão anaeróbica, 13% dos estudos, que teve avanços significativos nos últimos anos, também relacionados ao tratamento de águas residuais e recuperação de energia (KHANAL, 2020). A digestão anaeróbica é um processo de conversão microbiana de material orgânico em biogás, composto principalmente de metano e dióxido de carbono. O processo ocorre naturalmente, e sua aplicação técnica fornece uma fonte de energia renovável. Além disso, a matéria orgânica é convertida em múltiplas etapas, oferecendo a possibilidade de interromper a reação e bloquear intermediários para uso como matérias-primas na indústria química (LIEBETRAU *et al.*, 2017).

Um quarto grupo de trabalhos abrange tratamentos com Células de Combustível Microbianas, com 49 estudos (8%). É uma tecnologia sustentável e promissora capaz de converter a energia química presente em águas residuais em energia elétrica limpa, resultando em biorremediação simultânea de efluentes (NEETHU *et al.*, 2020; VILELA *et al.*, 2020). O princípio fundamental dessa tecnologia está na capacidade dos microrganismos em catalisar oxidações e reduções eletroquímicas em um ânodo ou cátodo, respectivamente, com o objetivo de produzir uma corrente elétrica (KUMAR *et al.*, 2017).

Um total de 29 estudos, 5% dos resultados, empregaram enzimas no tratamento de efluentes. Considerando que os efluentes de laticínios contêm uma quantidade significativa de gordura em sua composição, tratamentos envolvendo enzimas podem facilitar sua degradação. Conforme Sen *et al.* (2014), resíduos à base de proteínas são os componentes mais significativos de obstrução no processamento de leite. Normalmente, esses resíduos são removidos por sistemas de limpeza locais que empregam soluções de limpeza ácidas e cáusticas, resultando em altos níveis de sólidos dissolvidos no efluente. Nestes estudos, as enzimas são aplicadas tanto nos processos de limpeza da indústria quanto no tratamento do efluente final.

O sétimo grupo compreende 18 artigos (3% dos resultados) que utilizaram biofiltros para o tratamento de efluentes de laticínios. No que diz respeito aos processos biológicos para o tratamento de odores, os biofiltros demonstram alta eficiência. Para essa tecnologia, é utilizada a capacidade de microrganismos em um meio filtrante para metabolizar compostos de odor, compostos orgânicos voláteis e contaminantes inorgânicos, levando à biodegradação de poluentes. Os biofiltros podem ser empregados em estações de tratamento de águas residuais, indústrias

químicas, gráficas, borracha, farmacêutica, petroquímica, alimentos e bebidas, plásticos e indústrias de pintura (BRANT, 2003).

Por fim, 14 estudos, 2% dos resultados, realizaram o cultivo de microrganismos a partir de efluentes de laticínios. Alguns exemplos de microrganismos relevantes são aqueles que degradam e armazenam óleos e gorduras, considerando que os efluentes de laticínios contêm uma quantidade significativa de óleos, gorduras e nutrientes. Eles são prontamente empregados tanto para o isolamento quanto para o crescimento desses microrganismos. Uma aplicação desses microrganismos é a produção de biodiesel, obtido por meio da transesterificação de lipídios. Além disso, existe a busca por novas bactérias para obter melhores rendimentos na produção de lipídios, empregando diferentes fontes de carbono (BEHERA *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2015).

Outros tipos de microrganismos que podem ser isolados a partir de efluentes de laticínios são aqueles que produzem enzimas de degradação de polímeros. Essas enzimas podem posteriormente ser comercializadas, e os microrganismos também podem ser aplicados no tratamento de efluentes (MCKAY; DONAGHY, 1995). Outro exemplo são os microrganismos eficientes (EMs), organismos benéficos, altamente eficazes, não patogênicos e não geneticamente modificados, incluindo bactérias fermentadoras de lactose e leveduras (ZACARIA *et al.*, 2010). Sua utilização inclui o tratamento de água e efluentes, bem como o controle de odores.

#### **4.5 Conclusões**

Pode-se concluir que a pesquisa realizada de 1945 a 2021 usando os termos "dairy effluent" e "dairy wastewater" resultou em 1191 estudos, que destacam o inglês como o idioma principal, com a maioria em artigos. A Índia foi o país com o maior número de publicações relacionadas ao tema. O pico mais alto de estudos publicados relacionados a efluentes de laticínios ocorreu em 2021, e há um crescimento estimado no número de publicações e citações até 2030. A maior porcentagem de obras publicadas está relacionada ao tratamento de efluentes, destacando os processos biológicos como os mais proeminentes, sendo 70% do total. Entre os tratamentos biológicos, destacaram-se os biorreatores, cultivo de microalgas ou plantas aquáticas, digestão anaeróbia, células combustíveis microbianas, enzimas, biofiltros e cultivo de microrganismos.

## 5 ESTUDO II: IDENTIFICAÇÃO DO CORE MICROBIANO DE DIVERSOS EFLUENTES DE LATICÍNIOS: UMA ABORDAGEM METANÁLITICA

### 5.1 Introdução

Os efluentes diferem em suas características com base em sua fonte, no caso das águas residuais de laticínios, a composição variada, proveniente das diversas atividades realizadas pela indústria, tornam esses efluentes altamente biodegradáveis e, portanto, passíveis de tratamentos biológicos que consistem em processos aeróbicos e anaeróbicos, normalmente em combinação (PALANISAMY; GAJENDIRAN; MANI, 2021; MACHADO; FREIRE; SILVA, 2000; SILVA, 2011).

A caracterização da diversidade microbiana bem como o funcionamento do ecossistema são essenciais para entender e otimizar os processos biológicos de tratamento de águas residuais. Estudos anteriores demonstraram a influência das condições operacionais na ecologia microbiana de sistemas de biorreatores e nas atividades metabólicas dos microrganismos (VARGAS, LABRADOR, DEYÁ, 2012; LEE, KANG, PARK, 2015; MARTINEZ *et al.*, 2016).

O microbioma é o conjunto de micro-organismos, seus genomas e interações em determinado ambiente. O *core* microbiano compreende micro-organismos presentes em todas ou maior parte das amostras, que provavelmente participam em processos metabólicos básicos do meio e garantem o bom funcionamento do mesmo (SINGH *et al.*, 2023). Identificar o *core* microbiano de efluentes de laticínios pode contribuir no estudo sobre biorremediação dos efluentes. A meta-análise pode ser utilizada nesse tipo de pesquisa, pois é um procedimento estatístico que combina dados de vários estudos para identificar padrões e biomarcadores que não podem ser identificados em um único estudo (FIGUEIREDO *et al.*, 2014).

Considerando a importância da caracterização do microbioma para otimização de processos biológicos, bem como a existência de poucos trabalhos que fazem essa busca para os efluentes de laticínios (LOGAN *et al.*, 2022; KIM, CHOI, LEE, 2022; ALALAM *et al.*, 2022; LEMBO *et al.*, 2020; MCATEER *et al.*, 2020; HENRIET *et al.*, 2017; PULIDO *et al.*, 2018; LAI, HESS, MITLOEHNER, 2018; NOYES *et al.*, 2016). O presente estudo objetiva avaliar a alfa- e beta- diversidade, além de identificar do *core* microbiano encontrado em diferentes efluentes laticínios usando dados públicos.

## 5.2 Métodos da Pesquisa

Os conjuntos de dados foram escolhidos em pesquisas bibliográficas no PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) e em bancos de dados públicos de nucleotídeos como Sequence Read Archive (SRA) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra>) e European Nucleotide Archive (ENA) (<https://www.ebi.ac.uk/ena>). Para a busca, foram utilizados os termos “dairy wastewater” e “dairy effluent”. Essa busca resultou em 11 estudos.

Os critérios de seleção dos estudos foram os seguintes: a) estar relacionados a um efluente de laticínio; b) ter diversidade microbiana avaliada por meio de sequenciamento de nova geração usando a plataforma Illumina; c) usar gene que codifica a região 16S da subunidade ribossomal (rDNA) para descrever a comunidade bacteriana; d) ter acesso ao artigo original a fim de prospectar dados categóricos e físico-químicos das amostras. A partir dos 11 estudos iniciais encontrados, considerando-se os critérios supramencionados, foram selecionados 6 estudos e 126 amostras, conforme Quadro 2.

De modo sucinto, o processamento dos dados brutos de sequenciamento foi feito por meio do pacote de software QIIME 2 (versão 2023.5) (Bokulich *et al.*, 2017). Foram removidas sequências de baixa qualidade (Phred < 30) e quimeras usando o DEBLUR (AMIR *et al.*, 2017), por fim estas sequências foram agrupadas em ASV (*amplicon sequence variant*). Para a classificação taxonômica foi usado o banco de dados SILVA (16S rDNA completo) (QUAST *et al.*, 2013). Os *singletons*, cloroplastos, mitocôndrias e sequências de arqueias foram removidos do conjunto de dados.

Para análises de alfa e beta-diversidade, e *core* microbiano foi utilizado a plataforma MicrobiomeAnalyst 2.0 (<https://www.microbiomeanalyst.ca/>). Os dados de entrada nesta plataforma foram: a) a tabela de ASV, exportada do QIIME 2; b) a tabela contendo as informações taxonômicas das amostras, exportada do QIIME; e c) a tabela de metadados construída com base nas informações dos artigos usados neste estudo. Foram feitas ainda nesta plataforma abundância relativa e análise linear discriminante (LDA) do tamanho do efeito (LEfSe).

O conjunto de dados foi categorizado da seguinte forma, com base no(a): a) tipo de efluente, b) origem da amostra, c) tipo de tratamento, e d) tipo de reator, conforme descrito no Quadro 2 a seguir:



**Quadro 2 – Conjunto de dados de sequenciamento de amplicons do gene que codifica a região 16S da subunidade ribossomal (rDNA) utilizados neste estudo**

Código do Estudo	Número de acesso	Título do artigo DOI e ano de publicação	Região do gene 16S	Número de amostras	Origem da amostra	Tipo de efluente	Tipo de tratamento	Tipo de reator
P1	PRJNA356222	Filamentous bulking caused by <i>Thiothrix</i> species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy  DOI: <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-017-01481-1">10.1038/s41598-017-01481-1</a> Ano: 2017	V1-V2	28	Lodo com volume filamentoso	Águas residuais de laticínios	Físico_Biológico	SBR*
P2	PRJNA681387	Thermophilic Anaerobic Digestion of Second Cheese Whey: Microbial Community Response to H2 Addition in a Partially Immobilized Anaerobic Hybrid Reactor  DOI: <a href="https://doi.org/10.3390/pr9010043">//doi.org/10.3390/pr9010043</a> Ano: 2020	V3-V4	8	Águas residuais de soro de queijo	Águas residuais de soro de queijo	Físico_Biológico Físico_Biológico_Químico	GSTR*
P3	PRJNA601960	Reactor configuration influences microbial community structure during high-rate, low-temperature anaerobic treatment of dairy wastewater  DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123221">//doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123221</a> Ano: 2020	V3-V4	24	Biofilme	Águas residuais de laticínios sintéticas	Físico_Biológico	UASB* EGSB*
P4	PRJNA667972	Characterization of Chemical and Bacterial Compositions of Dairy Wastewaters  DOI: <a href="https://doi.org/10.3390/dairy2020016">//doi.org/10.3390/dairy2020016</a> Ano: 2021	V6-V8	44	Águas residuais de laticínios	Águas residuais de laticínios	Físico Sem tratamento	-
P6	PRJNA762671	Formation and characterization of conductive magnetite-embedded granules in upflow anaerobic sludge blanket reactor treating dairy wastewater  DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126492">//doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126492</a> Ano: 2022	V3-V4	11	Lodo	Águas residuais de soro de queijo	Biológico	UASB
P7	PRJNA826074	Enhanced anaerobic digestion of dairy wastewater in a granular activated carbon amended sequential batch reactor  DOI: <a href="https://doi.org/10.1111/gcbb.12947">//doi.org/10.1111/gcbb.12947</a> Ano: 2022	V3-V4	11	Águas residuais de laticínios	Águas residuais de laticínios	Biológico_Químico Biológico Sem tratamento	SBR

\* Reator híbrido de tanque agitado a gás (GSTR), reator sequencial em batelada aeróbio (SBR); leito de lodo anaeróbico ascendente (UASB) e leito de lodo granular expandido (EGSB).

**Fonte: Autoria própria (2023)**

### 5.3 Resultados e Discussão

Um total de 1579357 *reads* foram avaliadas neste estudo. Os dados foram analisados em 4 categorias, sendo elas: tipo de efluente, origem da amostra, tipo de tratamento e tipo de reator.

#### 5.3.1 Tipo de efluente

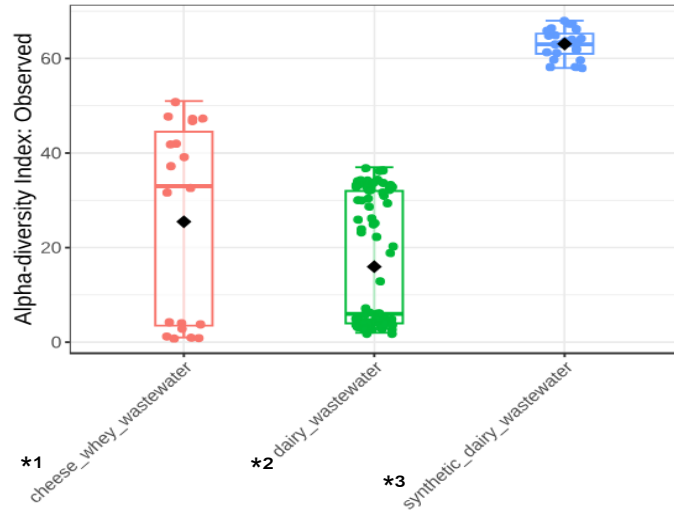
Os trabalhos resultantes da pesquisa trataram três tipos de efluentes de laticínios, sendo eles: a água residual de laticínio (resultante de todo processo de fabricação) a água residual de soro de queijo, e a água residual de laticínios sinteticamente produzida. As águas residuais de laticínios resultam de todo processo produtivo e de higienização da indústria, máquinas e equipamentos. Sendo assim, podem conter leite e derivados, e produtos químicos utilizados na higienização como detergentes, soluções ácidas e alcalinas (SILVA *et al.*, 2016). Esses efluentes são caracterizados pelo alto teor de matéria orgânica, devido à presença de substâncias do leite, como proteínas, carboidratos, gorduras, sólidos suspensos e minerais, além de elevada concentração de óleos e graxas e muitos nutrientes (GONÇALVES, 2017).

A água residual de soro de queijo foi tratada no estudo de Lembo *et al.* (2020), é o soro de queijo secundário oriundo da precipitação das proteínas do soro de queijo através do calor e adição de ácidos orgânicos e sais. O soro de queijo secundário apresenta elevada carga orgânica, detém cerca de 60% da matéria seca do soro de queijo, além de menor quantidade de gordura e proteínas, e maior salinidade, por conta da adição de sais nos processos de fabricação de queijos, requeijão ou ricota onde é gerado o soro secundário (CARVALHO; PRAZERES; RIVAS, 2013).

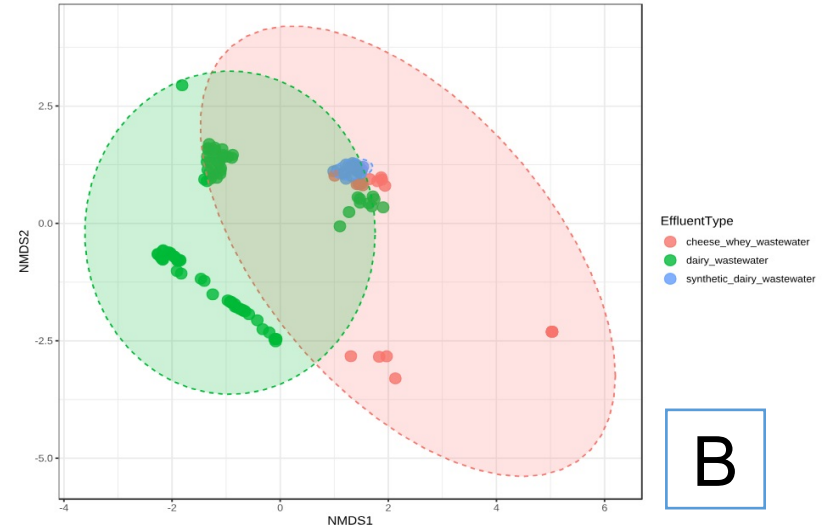
O efluente sintético de laticínios foi tratado no estudo desenvolvido por McAteer *et al.* (2020), foi composto por leite em pó desnatado (concentração de 2,5 g DQO L<sup>-1</sup>) e também macronutrientes e micronutrientes, o pH da solução foi tamponado com uso de 1,2 gL<sup>-1</sup> de bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>). A composição final do efluente sintético foi de 35% de proteína, 56% de carboidratos, 1% de gordura e 8% minerais.

A Figura 4 apresenta os gráficos referentes aos tipos de efluentes, considerado os gêneros, sendo eles: (A) Quantidade de gêneros observados (alfa-diversidade); (B) NMDS (beta-diversidade), (C) frequência relativa e (D) LEfSe.

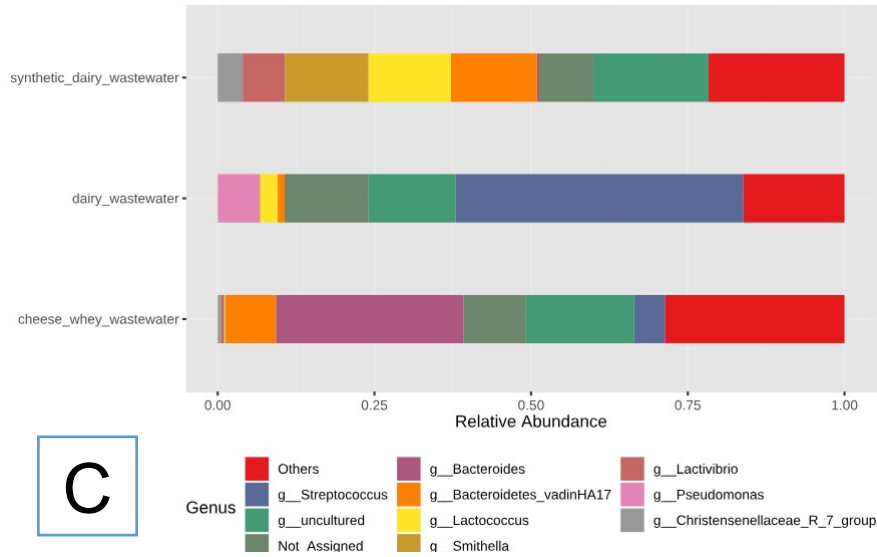
Figura 4 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de efluente



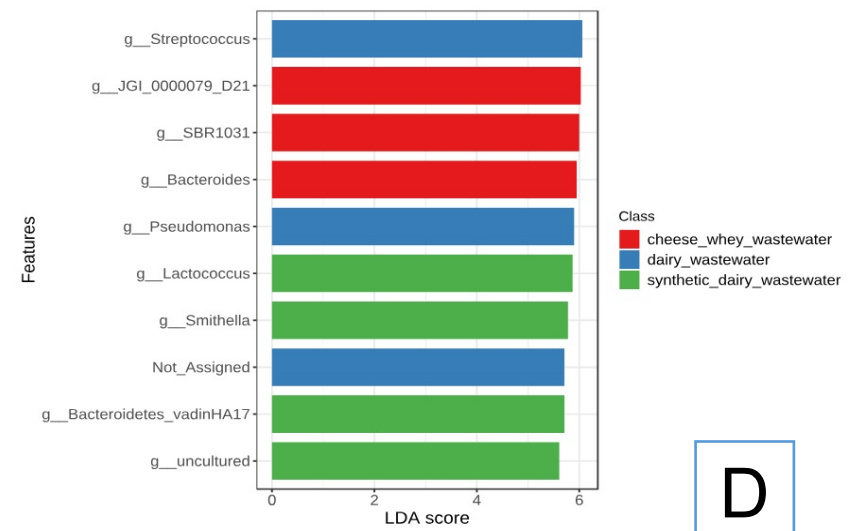
A



B



C



D

\*1 Águas residuais de soro de queijo; \*2 Águas residuais de laticínios; \*3 Águas residuais de laticínios sintéticas  
 Fonte: Autoria própria (2023)

O gráfico de alfa diversidade (Figura 4A) demonstra que o efluente sintético apresenta maior diversidade bacteriana, seguido da água residual de soro de queijo, enquanto a água residual de laticínio possui a menor diversidade de gênero bacterianos. É possível que a composição mais complexa do efluente sintético (35% de proteína, 56% de carboidratos, 1% de gordura e 8% minerais), quando comparado aos demais, tenha relação com o maior número de tipos gêneros nesse efluente. Além disso, efluentes reais comportam produtos químicos advindos dos processos de higienização da indústria, que além de alterar o pH do efluente (SILVA *et al.*, 2016), funcionam com agente de controle do crescimento microbiano, repercutindo na diminuição da biomassa microbiana.

No gráfico de beta diversidade (Figura 4B), observa-se que os diferentes tipos de efluentes influenciam a estrutura da comunidade microbiana. Neste caso, o soro de queijo e o efluente de laticínio apresentam maior dispersão entre as amostras, quando comparado ao efluente sintético que possui uma comunidade mais homogênea. Essa homogeneidade apresentada pelo efluente sintético era esperada, tendo em vista a composição controlada (produzido em laboratório), diferente dos demais efluentes que apresentam composição variada. Os efluentes reais de laticínios podem variar de acordo com o processo de fabricação, dependem de alguns fatores como o tipo de produção, condimentos que estão sendo utilizados, quantidade de água e produtos químicos utilizados na higienização (HENARES, 2015).

O gráfico de frequência relativa (Figura 4C) mostra os 10 principais gêneros de bactérias presentes em cada tipo de efluente, onde nota-se que a variedade de gêneros no efluente sintético é maior que nos demais efluentes. Esse resultado já era esperado considerando a composição conhecida e controlada do efluente sintético. Já os demais são efluentes reais e apresentam composição variada, principalmente a água residual de laticínios, que contém inclusive produtos químicos advindos os processos de higienização. Esses produtos podem inibir o crescimento de muitos microrganismos, como já discutido anteriormente.

No gráfico de LEfSe (Figura 4D), vemos os principais gêneros de bactérias responsáveis pela diferenciação das comunidades, observa-se que *Streptococcus* e *Pseudomonas* são os principais responsáveis pela diferenciação das águas residuais de laticínios (efluente real). Sabe-se o gênero *Pseudomonas* é composto por bactérias desnitrificantes heterotróficas, que podem ser encontradas em diferentes locais, como no solo e na água; capazes de causar infecções nos seres humanos, animais ou

plantas (VOLPATO, 2022; TEIXEIRA, 2015). Enquanto que *Streptococcus* assim como os *Bacteroides* (principal gênero que diferencia o soro de queijo) são microrganismos comuns ao organismo humano (PINHEIRO, 2020; PATRICK, 2015). Desta forma, a presença desses microrganismos nesses efluentes se relaciona a manipulação humana nos processos produtivos das fábricas de laticínios.

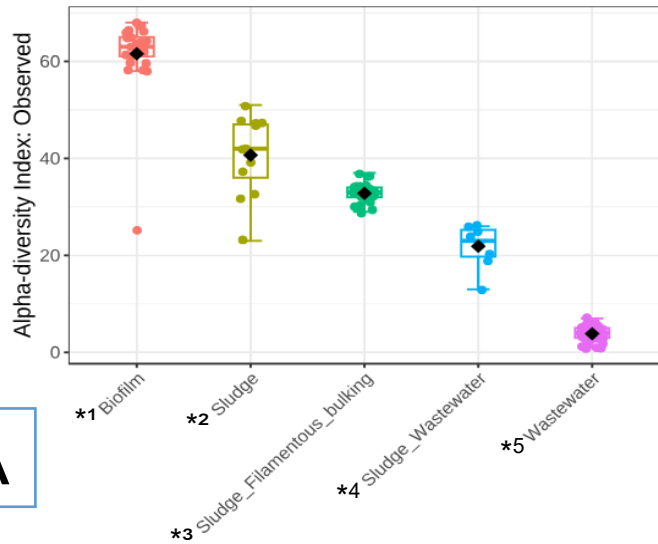
Para o efluente sintético, o principal gênero que diferencia suas comunidades é o *Bacteroidetes\_vadinHA17*, bactérias fermentadoras, comumente encontradas em sistemas metanogênicos de fermentação anaeróbicas ou em zonas anóxicas (WANG *et al.*, 2019). Também o gênero *Lactococcus*, do qual fazem parte as bactérias ácido lácticas, sua principal característica é formar ácido láctico a partir da fermentação metabólica (PINHEIRO, 2020). Além disso, o gráfico de frequência relativa (Figura 4C) mostra que o gênero *Lactivibrio* só está presente no efluente sintético, são bactérias comuns em processos de fermentação, geralmente encontradas em lodo granular de digestores anaeróbicos, também produzem acetato e hidrogênio (VOLPATO, 2022).

Além disso, a presença de *Streptococcus*, *Lactococcus* e *Pseudomonas*, nos efluentes de laticínios está diretamente ligada a composição desses efluentes que contém também o leite. Essas bactérias estão entre os principais organismos responsáveis pela deterioração do leite (MADIGAN *et al.*, 2016). Esse substrato comporta muitas proteínas, carboidratos (principalmente lactose), gorduras e minerais. O efluente também apresenta derivados do leite; bem como os produtos que são utilizados para preparação dos derivados, como açúcares, essências e condimentos, tudo isso confere aos efluentes, elevadas concentrações de óleos e graxas e altos teores de nutrientes (MACHADO; FREIRE; SILVA, 2000; SILVA *et al.*, 2016).

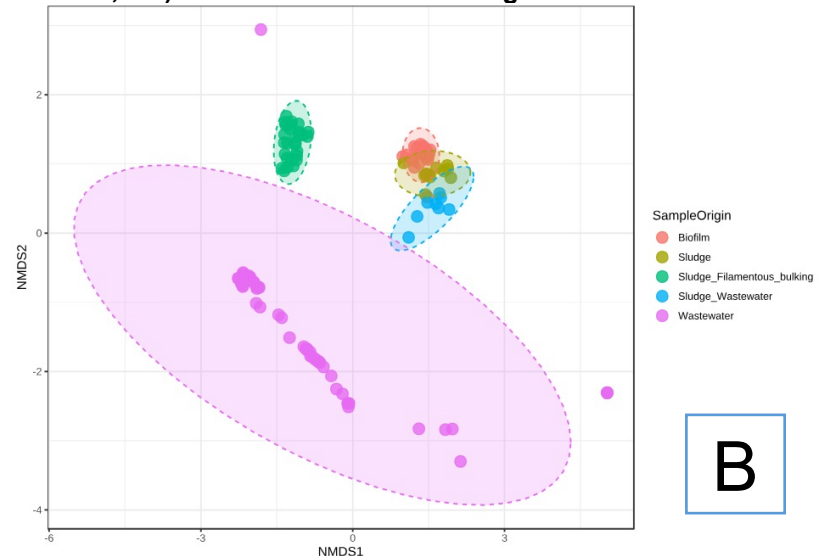
### 5.3.2 Origem da amostra

A Figura 5 apresenta os gráficos referentes as origens das amostras, considerado os gêneros, sendo eles: (A) Quantidade de gêneros observados (alfa-diversidade); (B) NMDS (beta-diversidade), (C) frequência relativa e (D) LEfSe. As amostras tiveram origem de águas residuais, lodo com águas residuais, lodo com volume filamentoso, apenas do lodo, ou ainda de biofilme formado em reatores.

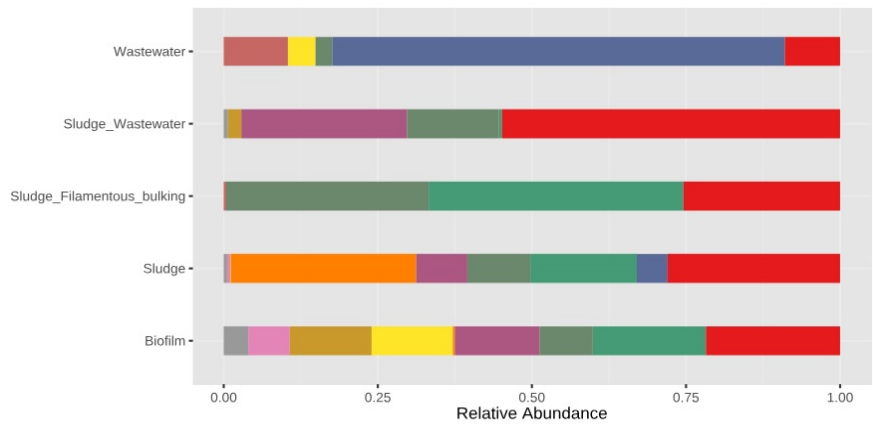
Figura 5 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando a origem da amostra



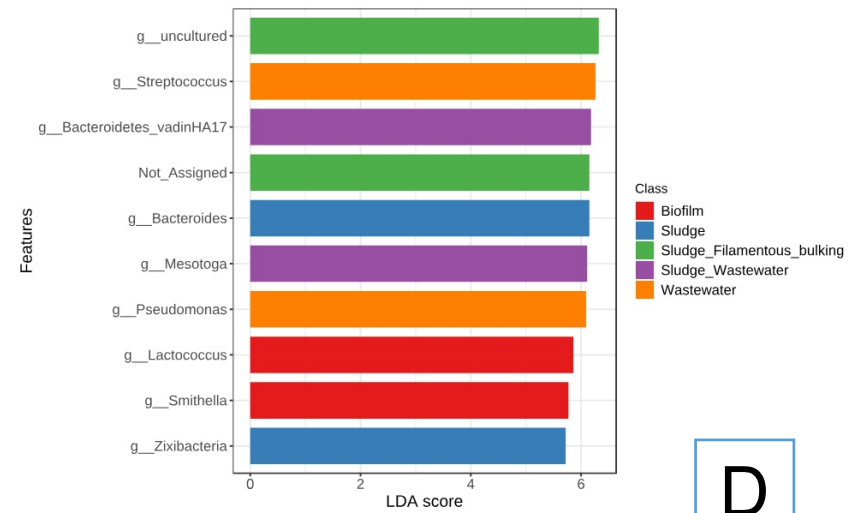
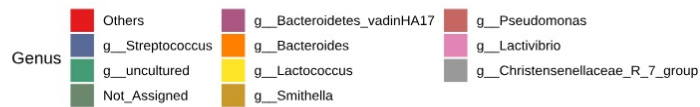
A



B



C



D

\*1 Biofilme; \*2 Lodo; \*3 Lodo com volume filamentoso; \*4 Lodo com águas residuais; \*5 Águas residuais

Fonte: Autoria própria (2023)

As águas residuais incluem tanto o soro de queijo, quanto os efluentes dos laticínios, que podem conter restos de leite e derivados, bem como as água e produtos químicos provenientes dos processos de higienização das indústrias. Outra colocação importante, é sobre o lodo com volume filamentosos, que é caracterizado pelo crescimento excessivo de organismos filamentosos, isso diminui a eficiência de tratamentos, como o processo de lodo ativado, pois dificulta a remoção de sólidos e nutrientes. Geralmente, bactérias filamentosas crescem em efluentes com alta carga orgânica, grande quantidade de gordura e compostos de enxofre reduzidos, baixas concentrações de oxigênio dissolvido e nutrientes (HENRIET *et al.*, 2017).

O gráfico de alfa diversidade (Figura 5A) demonstra que o biofilme apresenta maior diversidade bacteriana, na sequência estão o lodo, lodo com volume filamentosos, lodo com águas residuais, enquanto a água residual apresenta menor diversidade de gênero bacterianos. Já no gráfico de beta diversidade (Figura 5B), nota-se que as águas residuais são as que apresentam maior diferenciação das amostras, enquanto o biofilme é o que contém os gêneros mais parecidos e/ou repetidos.

No gráfico de frequência relativa (Figura 5C) temos os principais gêneros de bactérias em cada origem de amostra, chama atenção que a variedade de gêneros bacterianos presentes no biofilme, é superior aos demais. Dentre os principais gêneros presentes no biofilme estão *Lactococcus* e *Smithella* que também são os principais gêneros que diferenciam as comunidades ali presentes, conforme o gráfico de LEfSe (Figura 5D).

Os biofilmes podem ser definidos como aglomerados de microrganismos, que se ligam a superfícies sólidas ou semissólidas; a formação do biofilme se inicia com a adesão dos microrganismos, seguida de produção e acúmulo de uma matriz extracelular, contendo substâncias poliméricas (proteínas, polissacarídeos, DNA extracelular, etc.), também partículas retidas (CHAVES, 2004; AZEREDO *et al.*, 2016). Os biofilmes também protegem os microrganismos contra as forças de cisalhamento promovidas pela agitação do meio, como ocorrido no estudo de McAteer *et al.* (2020), onde *Lactococcus* foi a principal bactéria presente no biofilme, além de participar nos processos fermentativos, demonstrou hidrolisar a caseína em aminoácidos livres e peptídeos.

As amostras da água residual são diferenciadas principalmente pelos gêneros *Streptococcus* e *Pseudomonas* (Figura 5D), o que corrobora com o discutido

anteriormente para a Figura 4D, onde é demonstrado que os mesmos gêneros diferenciam as águas residuais. São microrganismos chave na degradação do leite, enquanto o gênero *Streptococcus* indica também a manipulação humana (MADIGAN *et al.*, 2016; PINHEIRO, 2020; PATRICK, 2015).

Ainda a água residual com lodo é diferenciada principalmente por *Bacteroidetes* enquanto as comunidades presentes no lodo se diferenciam principalmente pelo gênero *Bacteroides*. É conveniente que essas bactérias estejam presentes no lodo, por se tratarem de processos de digestão anaeróbica, pois esses gêneros contêm principalmente bactérias anaeróbicas e fermentativas, além de serem microrganismos comuns ao organismo humano, indicando também a manipulação (MADIGAN *et al.*, 2016).

### 5.3.3 Tipos de tratamentos

Quanto aos tipos de tratamento as amostras foram categorizadas de acordo com tratamento, sendo eles: sem tratamento; físico; biológico; biológico e químico; físico e biológico; ou físico, biológico e químico, conforme apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3 - Resíduos gerados nas principais etapas da produção de queijo mussarela**

Estudo	Tipo de tratamento	Descrição	Reator
P1	Físico_Biológico	Lodo ativado + decantação	SBR
P3		Digestão anaeróbica + filtro de pedra-pomes inerte	UASB EGSB
P2		Digestão anaeróbica + aeração	GSTR
P2	Físico_Biológico_Químico	Digestão anaeróbica + aeração + adição H <sub>2</sub>	GSTR
P4	Físico	Osmose reversa	-
P6	Biológico	Digestão anaeróbica	UASB
P7		Digestão anaeróbica	SBR
P7	Biológico_Químico	Digestão anaeróbica + carvão ativado	SBR

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Como observado no Quadro 3, o primeiro estudo, com tratamento biológico e físico, utilizou o sistema de lodo ativado por batelada, que é formado por um reator biológico com único tanque que desempenha diferentes funções. O efluente é



colocado no reator, tratado (pelas reações de remoção de matéria através dos microrganismos presentes no lodo) e depois decantado, o sobrenadante (efluente tratado) é retirado, restando apenas o lodo biológico. É um sistema amplamente utilizado devido sua eficiência e maior flexibilidade de operação (MARCONI, 2001; VON SPERLING, 2011).

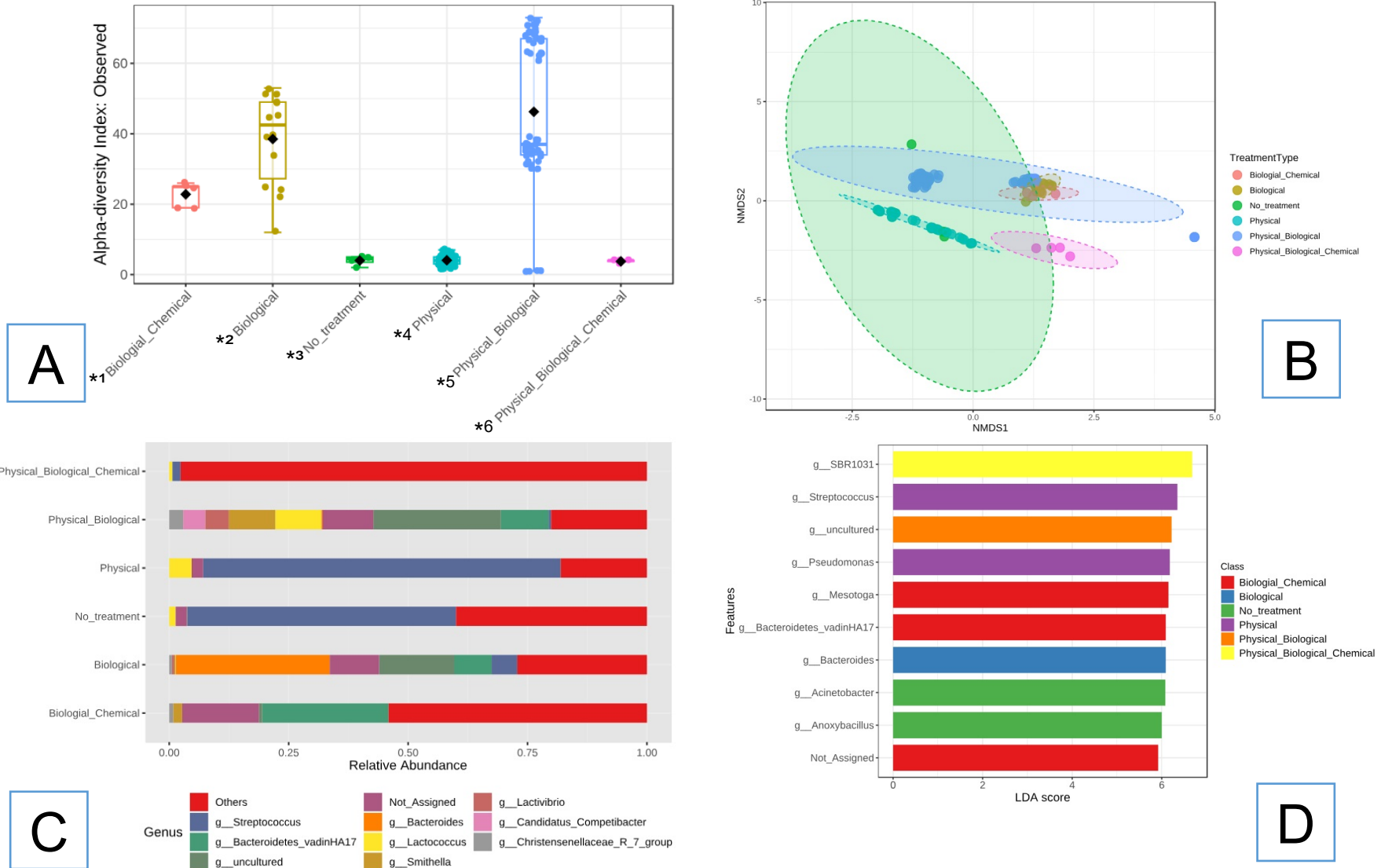
Os demais estudos (Quadro 3) categorizados em tratamentos biológicos, aplicaram processos de digestão anaeróbica, esse tipo de tratamento transforma a matéria orgânica dos efluentes em biogás e material orgânico, pela ação de microrganismos. As vantagens de utilização desse sistema incluem a utilização de pouco espaço, produção de energia renovável (biogás); produção de pouco lodo, baixo custo de operação; além da possibilidade de combinação com outros métodos de tratamento (BERNI, BAJAY, 2003).

Somente um dos estudos realizou apenas tratamento físico, aplicando a tecnologia de osmose reversa (OR), muito utilizado nas indústrias para recuperação de sólidos dos efluentes, possibilitando a reutilização da água residual para fins específicos, como água de resfriamento por exemplo. Esse sistema de membrana funciona aplicando pressão no efluente, forçando-o a passar pela membrana, onde ficarão retidas as impurezas. Osmose reversa tem se mostrado uma técnica promissora dentre as tecnologias limpas, pois oferece altas taxas de recuperação com boa qualidade da água obtida (SUÁREZ; RIEIRA, 2015).

A Figura 6 apresenta os gráficos referentes aos tipos de tratamentos, considerado os gêneros, sendo eles: (A) Quantidade de gêneros observados (alfa-diversidade); (B) NMDS (beta-diversidade), (C) frequência relativa e (D) LEfSe.

No gráfico de alfa diversidade (Figura 6A) é observado que o tratamento físico biológico é o de maior diversidade bacteriana, seguido pelo biológico, depois biológico químico. Já as amostras sem tratamento, apenas com tratamento físico e as que combinam tratamento físico, químico e biológico apresentam baixa diversidade nos gêneros bacterianos. Considerando que a maioria dos estudos com tratamento biológico aplicam a digestão anaeróbia, segundo Berni & Bajay (2003) esses processos, não só transformam a matéria orgânica dos efluentes em biogás como também geram novos microrganismos no meio.

Figura 6 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de tratamento



\*1 Biológico\_Químico; \*2 Biológico; \*3 Sem tratamento; \*4 Físico; \*5 Físico\_Biológico; \*6 Físico\_Biológico\_Químico

Fonte: Autoria própria (2023)

Outro fator importante é que os métodos físicos e químicos combinados ao biológico tanto podem contribuir como inibir o crescimento de alguns gêneros bacterianos. O tratamento físico, que corresponde a tecnologia de osmose reversa, apresenta uma das menores variedades de bactérias. Segundo Alalam *et al.* (2022) os controles de alguns parâmetros da tecnologia de OR como a temperatura e o tempo de filtração, pode influenciam no crescimento dos microrganismos, o que explica a baixa diversidade de gêneros desse tratamento.

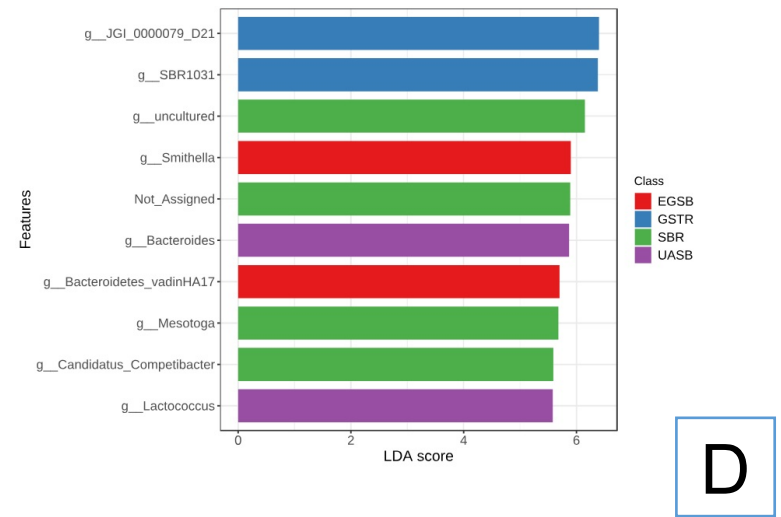
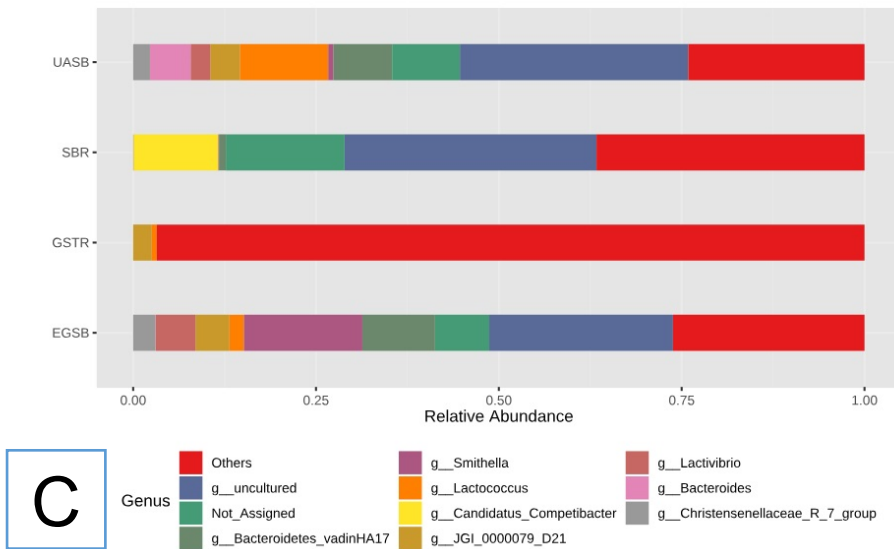
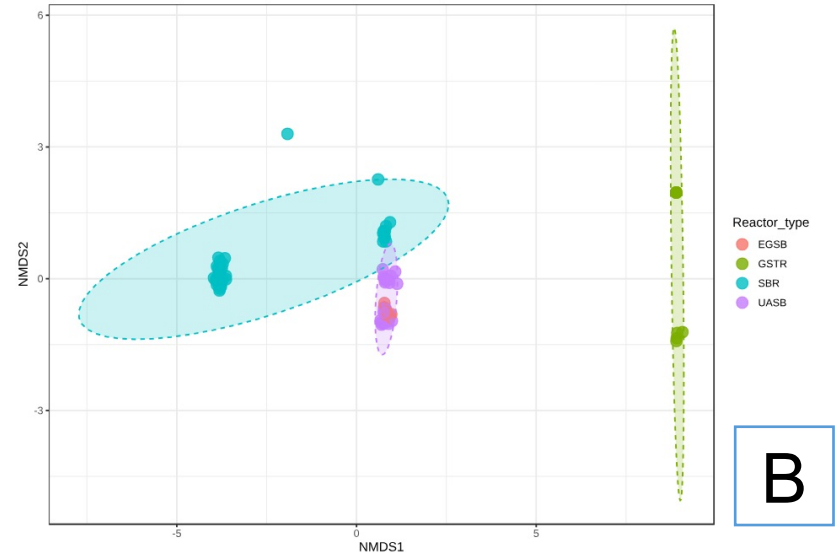
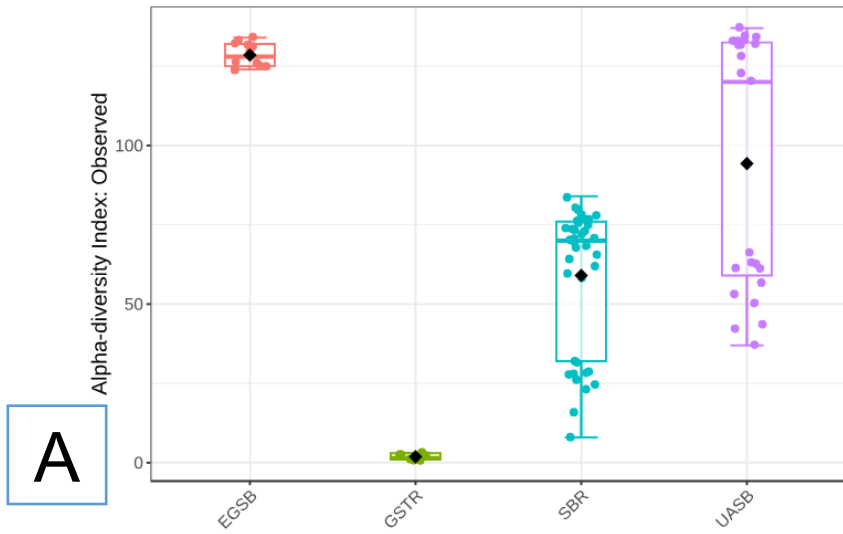
Pela análise de beta diversidade (Figura 6B), vemos que as comunidades de cada tratamento demonstram pouca diferenciação entre as amostras, os tratamentos biológico químico e biológico seriam os que contém os gêneros mais parecidos e/ou repetidos entre si. Sendo que, de acordo como gráfico de LEfSe (Figura 6D), os principais gêneros que diferenciam esses tratamentos são *Mesotoga*, *Bacteroidetes* e *Bacteroides*.

A diversidade de gêneros é melhor exemplificada no gráfico de frequência relativa (Figura 6C) que apresenta os 10 principais gêneros de bactérias presentes em cada tipo de tratamento, nota-se que a variedade de gêneros no tratamento combinado físico e biológico é maior que nos demais. Já no gráfico de Lefse (Figura 6D), que mostra os principais gêneros de bactérias responsáveis pela diferenciação das comunidades, nota-se que os gêneros *Streptococcus* e *Pseudomonas* são os principais responsáveis pela diferenciação do tratamento físico, enquanto os gêneros *Mesotoga* e *Bacteroidetes* diferenciam o tratamento biológico químico. O gênero *Bacteroides* é o principal do tratamento biológico, enquanto os gêneros *Acinetobacter* e *Anoxybacillus* diferenciam as amostras sem tratamento.

#### 5.3.4 Tipos de reatores

As amostras também foram categorizadas quanto ao tipo de reator nos quais foram realizados os tratamentos dos efluentes, são eles: reator híbrido de tanque agitado a gás (GSTR), reator sequencial em batelada aeróbio (SBR); leito de lodo anaeróbico ascendente (UASB) e leito de lodo granular expandido (EGSB). A Figura 7 apresenta os gráficos referentes aos tipos de reatores, considerado os gêneros, sendo eles: (A) Quantidade de gêneros observados (alfa-diversidade); (B) NMDS (beta-diversidade), (C) frequência relativa e (D) LEfSe.

Figura 7 – a) alfa diversidade, b) beta diversidade, c) frequência relativa, e d) LEfSe considerando o tipo de reator



Fonte: Autoria própria (2023)

O gráfico de alfa diversidade (Figura 7A) mostra que o reator EGSB apresenta maior diversidade bacteriana, seguido pelo UASB, depois SBR, e por último o GSTR. Entretanto, as amostras do reator SBR são as que apresentam maior diferenciação entre si, esse dado é observado na análise de beta diversidade (Figura 7B). O reator SBR pode ser projetado de diferentes maneiras, dependendo os objetivos a serem atendidos, pode conter apenas um tanque, ou vários tanques em paralelo. Além disso o tempo das fases pode ser variável, assim como as funções desempenhadas em cada fase (MARCONI, 2001). No trabalho realizado por Henriët (2017), um ciclo de reator SBR era de oito horas, iniciando com alimentação e aeração mista simultaneamente, seguido pela reação aeróbica, sedimentação, decantação e por fim realizada a purga do lodo.

Pela análise de beta diversidade (Figura 7B), observa-se que as comunidades presentes no reator GSTR além de apresentarem diferenciação entre si, ficaram bem distantes das comunidades dos outros reatores, o que indica que os gêneros presentes nesse reator são os mais diferentes dos demais reatores. O reator híbrido GSTR é derivado do reator de tanque agitado continuamente (CSTR), com modificações. No GSTR utilizado por Lembo *et al.* (2020), aproximadamente um terço do volume de trabalho do reator foi preenchido com suportes poliméricos, também foi utilizado uma recirculação de gás para homogeneização. Um Reator de Tanque com Agitação Contínua (CSTR) apresenta a vantagem de misturar de forma eficiente e contínua o material presente no reator, essa agitação facilita o contato das águas residuais com os microrganismos, garantindo maior eficiência na degradação dos poluentes dos efluentes (RAMASAMY; ABBASI, 2000).

Ainda conforme a análise de beta diversidade (Figura 7B), as comunidades do reator UASB e EGSB são as que apresentam pouca diferenciação. A diversidade de gêneros é melhor exemplificada no gráfico de frequência relativa (Figura 7C) onde nota-se que a variedade de gêneros nos reatores UASB e EGSB é maior que nos demais, o gráfico mostra que o gênero *Lactivibrio* por exemplo, só está presente nesses reatores. Segundo Volpato (2022) esse gênero de bactérias é comumente encontrado em reatores de base granular, como UASB e EGSB.

No reator UASB, o efluente segue fluxo ascendente, passa pelo leito de lodo, que contém a biomassa microbiana anaeróbia, onde ocorre a estabilização da matéria orgânica. A agitação se dá pelo fluxo ascensional e pelas bolhas de gás. O efluente sai pela parte superior do reator, passando pelo separador de gases e sólidos, que

permite que as partículas de gases que se desprendem da manta de lodo retornem para a câmara de digestão, não sendo arrastadas para fora do sistema. São vantagens do reator UASB a alta estabilidade e a obtenção de subprodutos como o lodo, que pode ser utilizado como fertilizante (AFONSO *et al.*, 2016) e o biogás, um dos primeiros produtos biológicos da natureza, produzido em escala industrial, pode ser utilizado como gás de cozinha ou de aquecimento. Também pode ser transformado em biometano para ser utilizado na rede de gás natural, ou ser usado como combustível de transporte (HOYOS, 2016).

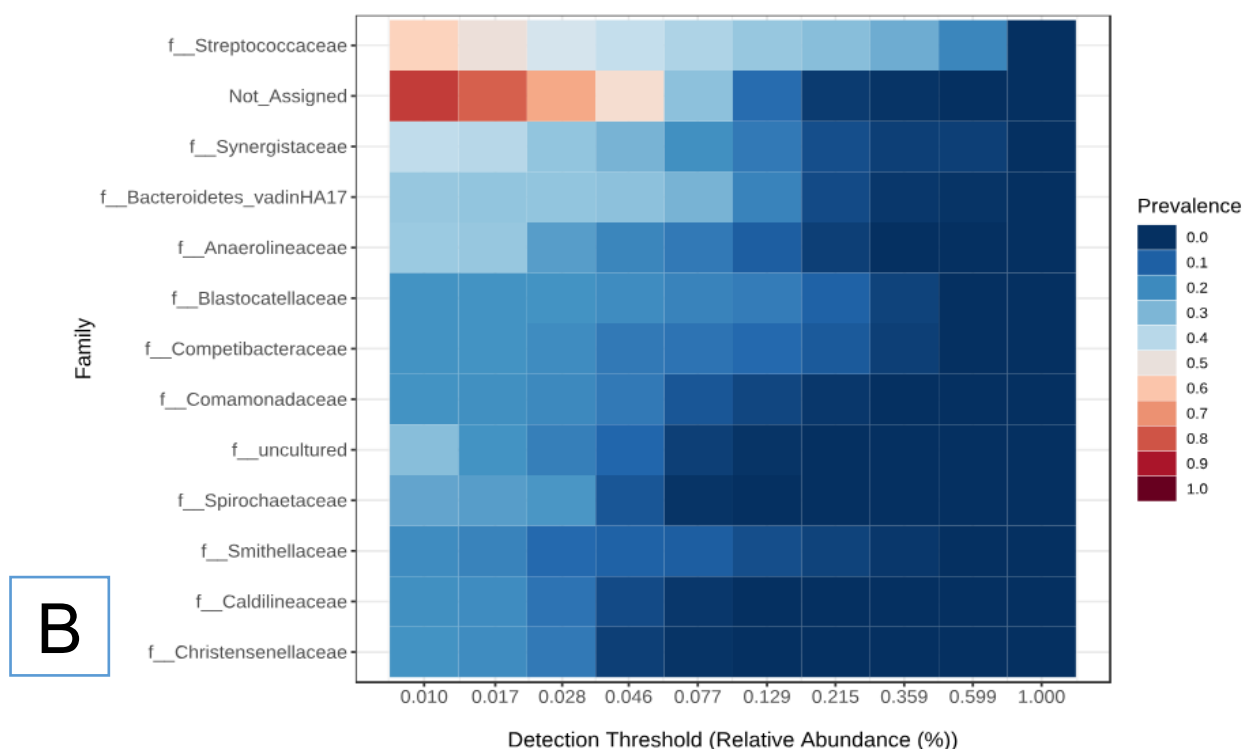
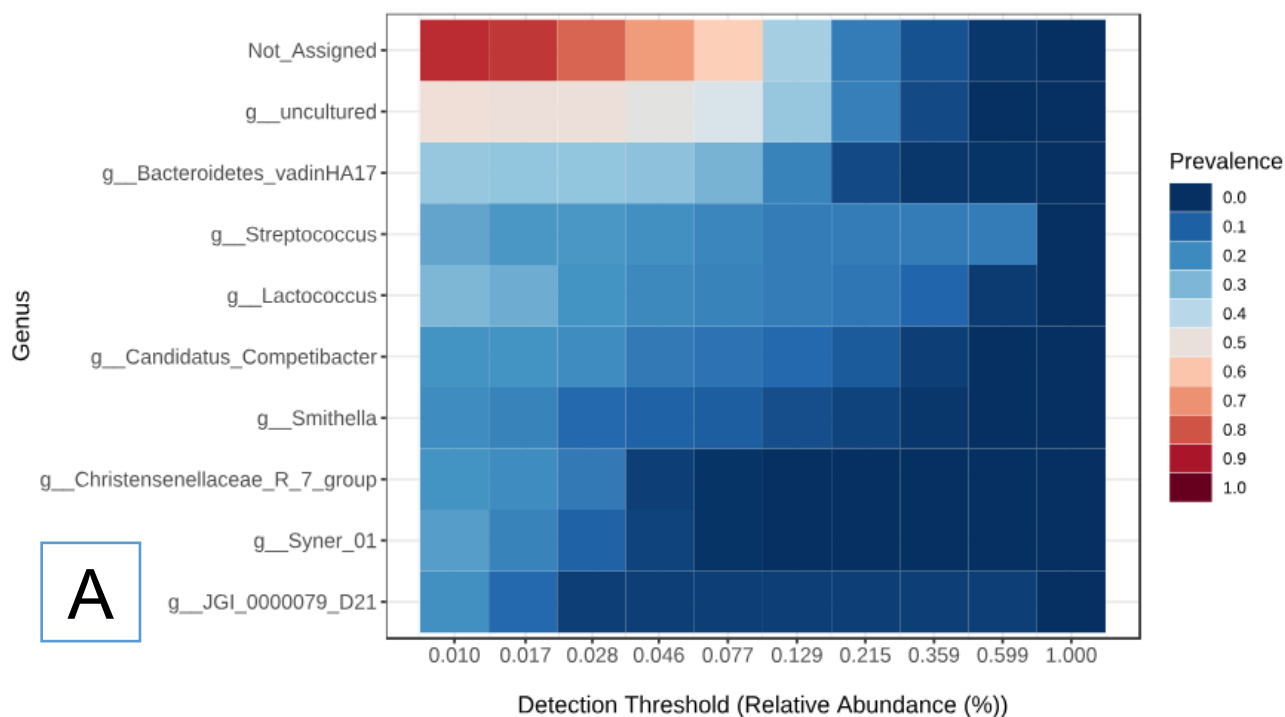
A Figura 7C também mostra que as bactérias *Lactococcus* no reator EGSB diminuíram significativamente em relação ao reator UASB, indicando que o aumento de agitação proporcionada pelo reator EGSB pode ter sido um fator limitante. O reator EGSB é uma derivação do reator UASB, desenvolvido para tratar cargas orgânicas maiores, com fluxo ascendente ou descendente, opera em maior velocidade, isso expande o leito e melhora o contato entre a biomassa e substrato (KHANAL *et al.*, 2020).

Outra informação relevante observada no gráfico de frequência relativa (Figura 7C), é que as bactérias do gênero *Smithella* aumentaram no reator EGSB. Essas bactérias são comuns em reatores de membrana anaeróbica, desempenham função importante tanto na oxidação de enxofre em reatores UASB, como também na fermentação secundária em biorreatores metanogênicos (OUYANG, 2019). Relacionado a isso, o gráfico de Lefse (Figura 7D), mostra que esse mesmo gênero *Smithella* é um dos principais diferenciadores das comunidades presentes no reator EGSB, juntamente com o gênero *Bacteroidetes*.

### 5.3.5 Core microbiano

O core microbiano se caracteriza como o conjunto de microrganismos compartilhado por determinados ambientes. Na Figura 8, observou-se os diferentes gêneros (A) e famílias (B) que compõem o core microbiano dos efluentes de laticínios. Observa-se que o percentual do core não foi alto, considerando que as amostras de efluentes são muito heterogêneas devido a variedade de tipos de efluentes, origem das amostras e tipos de tratamentos aos quais foram submetidas.

**Figura 8 – Core microbiano considerando a) gênero b) família**



Fonte: Autoria própria (2023)

O gráfico de *core* microbiano de gêneros (Figura 8A) mostra que a prevalência maior foi de um grupo sem gênero atribuído, seguido de um segundo grupo não cultivado. Curiosamente os mesmos gêneros bacterianos que foram encontrados nos

contextos de tipo de efluente, origem da amostra, tipo de tratamento e tipo de reator são prevalentes e mais abundantes, são eles: *Bacteroidetes*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, e *Smithella* provavelmente tenham um papel chave nestes efluentes.

*Bacteroidetes\_vadinHA17* são bactérias fermentadoras, geralmente encontradas em ambientes onde ocorre degradação de carbono, também em sistemas metanogênicos de fermentação anaeróbica, e zonas anóxicas (WANG *et al.*, 2019; BALDWIN *et al.*, 2015).

Os gêneros *Lactococcus* e *Streptococcus* incluem bactérias produtoras de ácido láctico, de habitats e atividades distintos. Algumas espécies apresentam patogenicidade para o homem e outros animais. Além disso, esses gêneros estão entre os principais organismos responsáveis pela degradação do leite. O gênero *Lactococcus* contém os estreptococos de importância para os laticínios, os *lactococos heterofermentativos* também produzem compostos aromatizantes (diacetil e acetoina), que têm sido utilizadas como culturas iniciadoras na fermentação de laticínios. Além de serem importantes na fabricação de produtos fermentados, os *Streptococcus* também são comuns ao organismo humano, a presença desses nos efluentes pode também estar relacionada a manipulação humana na fabricação dos lácteos (MADIGAN *et al.*, 2016; PATRICK, 2015; PINHEIRO, 2020).

Outro gênero observado na Figura 8A é *Candidatus competibacter*, sendo que o termo “Candidatus” indica que ainda não foram isolados em cultura pura (MADIGAN *et al.*, 2016). Essas bactérias são acumuladoras de glicogênio, utilizando-o para permitir a absorção anaeróbica de carbono. Em sistemas de tratamento de águas residuais sua proliferação reduz teoricamente a capacidade de remoção biológica de fósforo, pois competem por recursos do meio com os organismos responsáveis pela remoção de fósforo (MCILROY *et al.*, 2013).

As bactérias do gênero *Smithella* por sua vez são organismos anaeróbios, comuns em ambientes metanogênicos, podem ser facilmente encontradas nos reatores de membrana anaeróbica, participam de processos de oxidação de enxofre em reatores UASB, e de fermentação secundária em biorreatores metanogênicos (LIU *et al.*, 1999; OUYANG, 2019).

Outro grupo de bactérias que pode indicar a manipulação humana em laticínios é *Christensenellaceae*, bactérias comensais encontradas em humanos. Apesar de pouco se saber sobre a ecologia destes microrganismos, acredita-se que essas bactérias são importantes para a saúde intestinal, sendo relacionadas ao



estado saudável do intestino, inversamente relacionada ao índice de massa corporal (IMC) do hospedeiro (KROPP *et al.*, 2021; WATERSE; LEY, 2019).

Quanto aos dois últimos gêneros mostrados no *core* microbiano (Figura 8A), *Syner-01* é uma bactéria fermentadora que produz acetato e promove oxidação de aminoácidos, também pode estar relacionada à remoção de sulfato. Enquanto JGI-0000079-D21 (Synergistetes), contém poucas espécies caracterizadas, mas as que já foram cultivadas são geralmente associadas ao trato gastrintestinal de animais. Além disso, apresentam metabolismo fermentativo e são geralmente anaeróbios que degradam proteínas e fermentam aminoácidos (OLIVEIRA *et al.*, 2021; MADIGAN *et al.*, 2016; ZHU *et al.* 2023).

#### 5.4 Conclusões

Conforme os dados aqui apresentados, pode-se concluir que os efluentes de laticínios apresentam amostras bastante heterogêneas, considerando as categorias para as quais essas amostras foram analisadas (tipo de efluente, origem da amostra, tipo de tratamento e tipo de reator). Os resultados das análises mostram a prevalência de microrganismos fermentadores e dos envolvidos da degradação do leite, tendo alguns gêneros bacterianos como os mais abundantes em todas as categorias estudadas, são eles: *Bacteroidetes*, *Streptococcus*, *Lactococcus*, e *Smithella* indicando que tenham um papel chave nos efluentes de laticínios.

## 6 CONCLUSÃO GERAL

Considerando todos os dados aqui apresentados, pode-se concluir que é crescente o número de publicações sobre efluentes de laticínios. A pesquisa demonstrou que diversos tipos de tratamentos são aplicados a estes efluentes, sendo os mais frequentes os processos biológicos. Isso se dá pela alta carga orgânica e biodegradável que esse tipo de efluente comporta. Relacionado a isso, concluiu-se também que os efluentes de laticínios apresentam amostras bastante heterogêneas, com prevalência de microrganismos fermentadores, relacionados a degradação do leite e ainda aqueles relacionados a manipulação humana.

A presente pesquisa demonstra que apesar dos diversos tratamentos que já são aplicados aos efluentes de laticínios, ainda há muito a ser estudado. São necessários mais estudos que realizem a caracterização do microbioma desse tipo de efluente, o que é fundamental tanto para o aperfeiçoamento de técnicas de tratamento já existentes, quanto no desenvolvimento de novos tratamentos, mais sustentáveis e eficientes. Como forma de mitigar os impactos ambientais causados pelos efluentes lácteos.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, M. D. *et al.* Reator anaeróbio de manta de lodo (uasb): características e funcionalidade. *In: XXV Congresso de iniciação científica universidade federal de pelotas*, 25, 2016, Pelotas.
- ALALAM, S. *et al.* Evolution of bacterial communities during the concentration and recirculation of dairy white wastewater by reverse osmosis. **International Dairy Journal**, v. 127, 2022.
- ALMEIDA, E. J. M.; GROSSI, L. J. Estudo do processo de tratamento de água da indústria de laticínio. Monografia (Engenharia química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.
- ALVES, Ana Elizabeth Santos. Indústria de Laticínios: Organização do trabalho e qualificação. **UEPG Humanit. Sci., Appl. Soc. Sci., Linguist., Lett. Arts**, Ponta Grossa, p. 277-287, 2008.
- AMIR, A. *et al.* Deblur Rapidly Resolves Single-Nucleotide Community Sequence Patterns. *mSystems* **2017**, 2, e00191-16.
- ANDRADE, G. F.; BARROS, D. B. Bioindicadores Microbiológicos para Indicação de poluição Fecal. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 34, p. 1-7, 2019.
- ANDRADE, L. H. Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso. Dissertação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- AZEREDO, J. *et al.* Revisão crítica sobre métodos de biofilme. **Revisões Críticas em Microbiologia**, v. 43, p. 313-351, 2016.
- AZZOLINI J. C.; FABRO L. F. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região Meio-Oeste de Santa Catarina. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2013.
- BALDWIN, S. A. *et al.* The microbial community of a passive biochemical reactor treating arsenic, zinc, and sulfate-rich seepage. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 3, 2015.
- BARBOSA, V. 2010: o ano dos desastres naturais. Exame, 2014. Disponível em: <<https://exame.com/mundo/2010-o-ano-dos-desastres-naturais/>> Acesso em: 02 nov. 2022.
- BARBOSA, V. Terra em fúria — os desastres naturais que castigaram o mundo em 2018. Exame, 2018. Disponível em: <<https://exame.com/mundo/terra-em-furia-os-desastres-naturais-que-castigaram-o-mundo-em-2018/>> Acesso em: 15 out. 2022.
- BEHERA, A. R. *et al.* High lipid accumulating bacteria isolated from dairy effluent scum grown on dairy wastewater as potential biodiesel feedstock. **Journal of Environmental Management**, v. 252, n. 109686, 2019.

BERNHARD, M.; MÜLLER, J.; KNEPPER, T. P. Biodegradation of persistent polar pollutants in wastewater: Comparison of an optimised lab-scale membrane bioreactor and activated sludge treatment. *Water research*, v. 40, p. 3419-3428, 2006.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V. Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022000000100003&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100003&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 02 agosto. 2023.

BOKULICH N. A. *et al.* 2017. Otimização da classificação taxonômica de sequências de genes marcadores. *PeerJ Preprints* 5.

BOUHABILA, E. H.; AIM, R. B.; BUISSON, H. Fouling characterisation in membrane bioreactors. **Separation and Purification Technology**, v. 22-23, p. 123–132, 2001.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB, 1993, 764 p.

BRANDRAL, R. *et al.* Nitrous oxide emission from farm dairy effluent application in grazed grassland. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v. 10, p. 22-34, 2010.

BRANT, G. Ambiente: Controle de odores, compostos orgânicos voláteis e emissões gasosas por meio da biofiltragem. *Química e derivados*, qd. 2003.

BROWN K. D., *et al.* Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico. **Science of the Total Environment**, v. 366, p. 772–783, 2006.

BULE, E. L.; SUARÉZ, E. R.; GULAMUSSEN, N. J. Reuso de águas residuais tratadas da ETAR de Infulene em torres de arrefecimento. In: X Conferência Científica 2018 UEM fortalecendo a investigação e a extensão para o desenvolvimento, 2018. Maputo. *Anais...* Maputo: Revista científica da UEM, 2018.

CALLAHAN, B. J. *et al.* DADA2: high-resolution sample inference from Illumina. **Nature Methods**, v.13, p.581–583, 2016.

CAMERON, K. C.; DI, H. J. Nitrogen leaching losses from different forms and rates of farm effluent applied to a Templeton soil in Canterbury, New Zealand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 429-437, 2003.

CAVALCANTI, J. E. A história do processo de lodo ativado. *Instituto de Engenharia*, 2020. Disponível em <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/category/articulistas/jose-eduardo-cavalcanti/>> Acesso em 02 nov. 2021.

CARVALHO, F.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. **Science of the Total Environment**. p. 385–396, 2013.

CHAVES, L. C. D. Estudo da Cinética de Formação de Biofilmes em Superfície em Contacto com Água Potável. Dissertação (Departamento de Engenharia Biológica) - Universidade do Minho, 2004.

CHIARETTI, D. 2021: ONU: 2021 pode ser ano do “tudo ou nada” para salvar planeta de crise ambiental. Save Cerrado, 2021. Disponível em: <[https://www.savecerrado.org/onu-2021-pode-ser-ano-do-tudo-ou-nada-para-salvar-planeta-de-crise-ambiental/?gclid=Cj0KCQjwz6ShBhCMARIsAH9A0qX\\_MNnTQEWzpzY7edZV-Y4IWgJari1MXAX\\_Ckk\\_BAtN18xw\\_ns8hpUaAqp7EALw\\_wcB](https://www.savecerrado.org/onu-2021-pode-ser-ano-do-tudo-ou-nada-para-salvar-planeta-de-crise-ambiental/?gclid=Cj0KCQjwz6ShBhCMARIsAH9A0qX_MNnTQEWzpzY7edZV-Y4IWgJari1MXAX_Ckk_BAtN18xw_ns8hpUaAqp7EALw_wcB)> Acesso em: 7 jan. 2023.

CONAMA – Conselho nacional do meio ambiente. Resolução nº357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> Acesso em: 10 out. 2021.

COSTA, L. M. C.; HAMANN, E. H. Pandemias de influenza e a estrutura sanitária brasileira: breve histórico e caracterização dos cenários. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**. p. 11–24, 2016.

DANUELLO, J. C.; OLIVEIRA, E. F. T. Análise cientométrica: produção científica e redes colaborativas a partir das publicações dos docentes dos programas de pósgraduação em Fonoaudiologia no Brasil. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 18, Edição Especial, p. 65 - 79, 2012.

DESANTIS, T. Z. *et al.* (2006). Greengenes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB. *Applied Environmental Microbiology*. V. 72, p. 5069-5072, 2006.

DI BITETTI, M.S.; FERRERAS, J. A. Publish (in English) or perish: The effect on citation rate of using languages other than English in scientific publications. *Ambio*. p. 1-7, 2016.

DI, H. J. *et al.* Contributions to nitrogen leaching and pasture uptake by autumn-applied dairy effluent and ammonium fertilizer labeled with N isotope. **Plant and Soil**, v. 210, p. 189–198, 1999.

DI, H. J.; CAMERON, K. C. Nitrate leaching and pasture production from different nitrogen sources on a shallow stoney soil under flood-irrigated dairy pasture. **Australian Journal of Soil Research**, v. 40, p. 317-334, 2002.

ERTHAL, V.J.T., *et al.* Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FAN, J. *et al.* Effect of application of dairy manure, effluent and inorganic fertilizer on nitrogen leaching in clayey fluvo-aquic soil: A lysimeter study. **Science of The Total Environment**, v. 592, p. 206 – 214, 2017.

FERREIRA, I. C. S. Tratamento terciário da indústria de laticínios através da adsorção de lactose em argila esmectítica. Dissertação (Escola Politécnica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FONSECA, A.F. *et al.* Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

GIRI, S. *et al.* Vegetative Covers for Sediment Control and Phosphorus Sequestration from Dairy Waste Application Fields. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 53, p. 803-811, 2010.

HENARES, J. F. Caracterização do efluente de laticínio: análise e proposta de tratamento. Monografia (engenharia de alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

HENRIET, O. *et al.* Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy. *Scientific Reports*, v.7, p. 1430, 2017.

HOSSEINI, E. K. *et al.* Pollutant removal from dairy wastewater using live *Azolla filiculoides* in batch and continuous bioreactors. **Water Environment Research**. v.93, p. 2122 – 2134, 2021.

HOYOS, N. L. M. Análise comparativa do desempenho de reator anaeróbio híbrido e reator de manto de lodo de fluxo ascendente (UASB) aplicados ao tratamento de esgoto sanitário. Dissertação (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

IAP. Parâmetros de lançamentos de efluentes líquidos. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-49.html>> Acesso em: 10 out. 2021.

KUMAR, R. *et al.* Exoelectrogens in microbial fuel cells toward bioelectricity generation: a review. *International Journal of energy research*. 39(8):1048-1067, 2017.

KIM, J.; CHOI, H.; LEE, C. Formation and characterization of conductive magnetite-embedded granules in upflow anaerobic sludge blanket reactor treating dairy wastewater. *Bioresource Technology*, v. 345, 2022.

KUMAR, R. *et al.* Comprehensive evaluation of microalgal based dairy effluent treatment process for clean water generation and other value added products. **International Journal of Phytoremediation**, vol. 21, n. 6, pag 519-530, 2019.

KUMAR, S. *et al.* Simultaneous lipid production and dairy wastewater treatment using *Rhodococcus opacus* in a batch bioreactor for potential biodiesel application. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, p. 1630 – 1636, 2015.

KROPP C. *et al.* The Keystone commensal bacterium *Christensenella minuta* DSM 22607 displays anti-inflammatory properties both in vitro and in vivo. **Scientific Reports**, n. 11494, 2021.

LAI, E.; HESS, M.; MITLOEHNER, F. M. Profiling of the Microbiome Associated With Nitrogen Removal During Vermifiltration of Wastewater From a Commercial Dairy. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 2018.

LAGE, S. *et al.* Microalgae Cultivation for the Biotransformation of Birch Wood Hydrolysate and Dairy Effluent. **Catalysts**, vol. 9, 2019.

LANDES, M. *et al.* India's Dairy Sector: Structure, Performance, and Prospects. Economic Research Service, 2017.

LEMBO, G. *et al.* Thermophilic Anaerobic Digestion of Second Cheese Whey: Microbial Community Response to H<sub>2</sub> Addition in a Partially Immobilized Anaerobic Hybrid Reactor. **Processes**, v. 9, p. 43, 2021.

LIEBETRAU, J. *et al.* (2017) Anaerobic Digestion. Em: Wagemann K., Tippkötter N. (eds) Biorefineries. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology, vol 166. Springer, Cham.

LI, J. *et al.* Nitrogen gaseous emissions from farm effluent application to pastures and mitigation measures to reduce the emissions: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Vol. 58, pag. 339-353, (2015).

LIU, Y., *et al.* Characterization of the anaerobic propionate-degrading syntrophs *Smithella propionica* gen. nov., sp. nov. and *Syntrophobacter wolinii*. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 49, p. 545-556, 1999.

LOGAN, M. *et al.* Enhanced anaerobic digestion of dairy wastewater in a granular activated carbon amended sequential batch reactor. **GCB Bioenergy**, v. 14, p. 840-857, 2022.

LOZUPONE, C.; HAMADY, M.; KNIGHT, R. UniFrac – an online tool for comparing microbial community diversity in a phylogenetic context. **BMC Bioinformatics**, v. 7, n. 371, 2006.

MACHADO, V. V. B. Análise ecotoxicológica e química da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios em Goiás. Dissertação (Química) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

MADIGAN, M. T. *et al.* Microbiologia de Brock. 14 ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MAGANHA, M. F. B. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos. São Paulo: CETESB, 2006; p. 95. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2021.

MANONO, B. O.; MOLLER, H.; MORGAN, R. Effects of irrigation, dairy effluent dispersal and stocking on soil properties of the Waimate District, New Zealand. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 59 – 66, 2016.

MARCONDES, J. G. Tratamento de efluentes. Trabalho de conclusão de curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2012.

MARCONI, R. G. Definição do ciclo operacional de um reator sequencial em batelada aeróbio (SBR) para tratamento de esgoto sanitário. Dissertação (engenharia hidráulica e saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MCATEER, P. G. *et al.* Reactor configuration influences microbial community structure during high-rate, low-temperature anaerobic treatment of dairy wastewater. **Bioresource Technology**, v. 307, p. 01-10, 2020.

MCILROY, S. J. *et al.* 'Candidatus Competibacter'-lineage genomes retrieved from metagenomes reveal functional metabolic diversity. **The ISME Journal**, v.8, p. 613–624, 2014.

MCKAY, A. M; DONAGHY, J. A. Proteolytic enzyme and polymer production by *lysobacter gummosus*. **Biotechnology letters**, v. 17, p.1229 – 1232, 1995.

MCLEOD, M. *et al.* Leaching of Escherichia coli from Stony Soils after Effluent Application. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 528 – 538, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Gov.br, 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/portal-do-leite/mapa-do-leite/> >. Acesso em: 08, agosto 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Análise de conjuntura dos biocombustíveis ano 2019. 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2019#:~:text=Este%20ano%20foi%20marcado%20pelos,a%C3%A7%C3%B5es%20na%20implementa%C3%A7%C3%A3o%20do%20RenovaBio.>> >. Acesso em: 7 set. 2022.

MOHAMMED, N. A.; ISMAIL, Z. Z. Green sustainable technology for biotreatment of actual dairy wastewater in constructed wetland. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 96, n. 5, p. 1197-1204, 2021.

MONAGHAN, R. M. *et al.* The use of low-rate sprinkler application systems for applying farm dairy effluent to land to reduce contaminant transfers. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 53, p. 389-402, 2010.



MONAGHAN, R. M. *et al.* Nutrient management in New Zealand pastures— recent developments and future issues. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 50, p. 181-201, 2007.

MONAGHAN, R. M.; SMITH, L. C. Contaminant losses in overland flow from dairy farm laneways in southern New Zealand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 159, p. 170-175, 2012.

NAVARRO, Z. S. de; PEDROSO, M. T. M. Agricultura familiar: o Brasil e os Estados Unidos. Brasília, 2012, 2p.

NEETHU, B. *et al.* Improving performance of microbial fuel cell by enhanced bacterial-anode interaction using sludge immobilized beads with activated carbon. *Process Safety and Environmental Protection*. 285-292, 2020.

NOYES, N. R. *et al.* Characterization of the resistome in manure, soil and wastewater from dairy and beef production systems. **Scientific Reports**, v. 6, 2016.

OLIVEIRA, C. impactos ambientais derivados de atividades industriais: o caso do cilo IV. Monografia (Geociências) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

OLIVEIRA, M. G. *et al.* Effect of microaerophilic treatment on swine wastewater (SWW) treatment: Engineering and microbiological aspects. *Journal of Environmental Management*, v. 299, n. 113598, 2021.

OUYANG, E. *et al.* Performance and dynamic characteristics of microbial communities in multi-stage anaerobic reactors treating gibberellin wastewater. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 127, p. 318-325, 2019.

PANG, N. *et al.* Recycling of Nutrients from Dairy Wastewater by Extremophilic Microalgae with High Ammonia Tolerance. **Environmental Science & Technology**, v. 54, p. 15366–15375, 2020.

PATRICK, S. Bacteroides. *In*: TANG, Y-W *et al.* **Molecular Medical Microbiology**. 2. ed. Elsevier, 2015. p. 917–944.

PEROBELLI, F. S.; ARAÚJO, I. F. J.; CASTRO, L. S. As dimensões espaciais da cadeia produtiva do leite em Minas Gerais. **Nova Economia**. v. 28, n.1, p.297-337. 2018.

Pesquisa trimestral do leite – 2º trimestre 2020. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2020. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>> Acesso em: 20 set 2022.

PINHEIRO, A. C. G. Efeito do soro de leite em culturas produtoras de exopolissacarídeos. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2020.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 110, p. 48–68, 2012.

POKRYWIECKI, T.; GUMY, M. P.; TONIAL, I. B.; POKRYWIECKI, J. C. Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticínios. **Revista Acadêmica Ciência Animal**. v. 11, p. 155 - 161, 2013.

POLONIO, J. C. et al. Potencial biorremediador de microrganismos: Levantamento de resíduos industriais e urbanos tratáveis no município de Maringá-PR. **BBR-Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 3, p. 31-45, 2014.

PULIDO, B. G. *et al.* Dominance of the genus *Polaromonas* in the microbial ecology of an Intermittently Aerated Sequencing Batch Reactor (IASBR) treating dairy processing wastewater under varying aeration rates. **Journal of Dairy Research**. V. 85, p. 388 – 390, 2018.

Quast, C. *et al.* The SILVA Ribosomal RNA Gene Database Project: Improved Data Processing and Web-Based Tools. **Nucleic Acids Res.** **2013**, *41*, D590–D596.

QUEIROZ, F. R. M. Sistemas de membranas de microfiltração/nanofiltração e ultrafiltração/osmose inversa: uma alternativa para a redução do nitrato em águas doces e salobras. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande-PB, Campina Grande, 2017.

RAMASAMY, E. V.; ABBASI, S. A. Energy recovery from dairy waste-waters: impacts of biofilm support systems on anaerobic CST reactors. **Applied Energy**, v. 65, p. 91-98, 2000.

RAMJEAWON, T. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories. *Journal of Cleaner Production*, V.8, p. 503-510. 2000.

RISTOW, G. As características que fazem da Nova Zelândia a maior exportadora de lácteos do mundo. MilkPoint, 2018. Encontrado em: <<https://www.milkpoint.com.br/colunas/leite-no-mundo/as-caracteristicas-que-fazem-da-nova-zelandia-a-maior-exportadora-de-lacteos-do-mundo-206529/>> Acesso em: 20 Out. 2022.

ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária. Juiz de Fora: Embrapa Gado de leite, 2020. 16p. (Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 123).

ROGNES, T. *et al.* 2016. VSEARCH: uma ferramenta versátil de código aberto para metagenômica.

SANTOS, M. S. Nitrogênio: importância, manejo e sintomas de deficiência. ALBAUGH. 2020. Disponível em: < <https://maissoja.com.br/nitrogenio-importancia-manejo-e-sintomas-de-deficiencia/#:~:text=O%20Nitrog%C3%AAnio%20desempenha%20papel%20fundamental,da%20mat%C3%A9ria%20seca%20da%20planta.>> . Acesso em: 9 set. 2022.

SEIXAS, M. A. **Nova Zelândia - Referência Internacional em laticínios e carnes**. Nota técnica, nº 19. Distrito Federal: Embrapa, 2019.

SEN, S. *et al.* Enzymatic removal of burnt-on protein residues from solid surface: A potential food equipment cleanser. **Food Control**, v. 40, p. 314-319, 2014.

SHADE, A.; HANDELSMAN, J. Beyond the Venn diagram: the hunt for a core microbiome. **Environmental Microbiology**, v. 14, p. 4-12, 2012.

SHANG, T. *et al.* Releasing Phosphorus from Calcium for Struvite Fertilizer Production from Anaerobically Digested Dairy Effluent. **Water Environment Research**, v.82, p. 34-42, 2010.

SHARMA, P. K. *et al.* Biopurification of dairy farm wastewater through hybrid constructed wetland system: Groundwater quality and health implications. **Environmental Research**, v. 200, p. 01-10, 2021.

SILVA, C. M. *et al.* **Prétratamento de efluente de laticínio visando a remoção da turbidez**. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Campina Grande. 2016.

SILVA, D. J. P. Resíduos na indústria de laticínios. Universidade Federal de Viçosa Departamento de tecnologia de alimentos. Viçosa, 2011.

SILVA, R. R.; SIQUEIRA, E. Q.; NOGUEIRA, I. S. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Eng sanit ambiente**. v.23, n.2, p. 217-228, 2018.

SINGH, S. *et al.* Molecular insights informing factors affecting low temperature anaerobic applications: Diversity, collated core microbiomes and complexity stability relationships in LCFA-fed systems. *Science of The Total Environment*, v.874, 2023.

SUAREZ, A.; RIEIRA, F. A. Production of high-quality water by reverse osmosis of milk dairy condensates. **Journal of industrial and Engineering Chemistry**, v.21, p. 1340-1349, 2015.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. Agenda 2030. Disponível em: <<https://portal.stf.jus.br/hotsites/agenda-2030/#:~:text=A%20Agenda%202030%20da%20ONU,17%20objetivos%20de%20de%20senvolvimento%20sustent%C3%A1veis.>>. Acesso em: 7 set. 2022.

TAUFER, G.; MULLER, C. S.; HILGEMANN, M. Remoção de fósforo e nitrogênio em efluente de indústria de laticínios por eletrocoagulação. **Scientia Plena**, v. 12, 2016.

TEIXEIRA, I. Pseudomonas. PETdocs, 2015. Disponível em: <[http://www.petdocs.ufc.br/index\\_artigo\\_id\\_491](http://www.petdocs.ufc.br/index_artigo_id_491)> Acesso em: 31, jul 2023.

TEIXEIRA P. T. R. Aspectos ambientais e agrônômicos da disposição de efluente de laticínios no solo. 2020. Dissertação (Conservação de Recursos Naturais no Cerrado) – Instituto Federal Goiano, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Urutaí.

TERA. Tratamento biológico aeróbio e anaeróbio de efluentes. 2021. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/tratamento-biologico-aerobio-e-anaerobio-de-efluentes>> Acesso em 24 nov. 2021.

TURNBAUGH, P. J. *et al.* The human microbiome project. **Nature** v. 449, p. 804-810, 2007.

VALENCIA-GICA, R. B.; YOST, R. S.; PORTER, G. Biomass production and nutrient removal by tropical grasses subsurface drip-irrigated with dairy effluent. **Grass and Forage Science**, v. 67, p. 337-349, 2012.

VILELA, C. *et al.* Membranas de poli (ácido 4-estireno sulfônico) / celulose bacteriana: Desempenho eletroquímico em uma célula a combustível microbiana de câmara única. *Relatórios de tecnologia da Bioresource*. 100376 (9), 2020.

VILLA, R. D.; SILVA, M. R. A.; NOGUEIRA, R. F. P. Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. **Quim. Nova**, v.30, n. 8, p. 1799-1803, 2007.

VOLPATO, E. L. Remoção de nonilfenol etoxilado em reator anaeróbio de leito granular expandido em codigestão de esgoto doméstico e glicerol. Dissertação (ciências engenharia hidráulica e saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 4ª edição, v. 1. Belo Horizonte, 2011.

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination*, Amsterdam, v. 219, n. 1-3, p. 190-202, 2008.

WANG, X-T. The microbial zonation of SRB and soNRB enhanced the performance of SR-DSR process under the micro-aerobic condition. **Environment International**, v. 132, p. 01-11, 2019.

WATERS, J. L.; LEY, R. E. The human gut bacteria Christensenellaceae are widespread, heritable, and associated with health. *BMC Biology*, v. 17, n. 83, 2019.

WOODARD, K. R. *et al.* Nitrogen Removal and Nitrate Leaching for Forage Systems Receiving Dairy Effluent. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, p. 1980-1992, 2002.

WOODARD, K. R. *et al.* Nitrogen Removal and Nitrate Leaching for Two Perennial, Sod-Based Forage Systems Receiving Dairy Effluent. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 996-1007, 2003.

YOUNG, M. *Comprehensive Biotechnology*. 2ª edição. Elsevier, 2011.

ZAAG, A. C. V. *et al.* Greenhouse Gas Emissions from Surface Flow and Subsurface Flow Constructed Wetlands Treating Dairy Wastewater. **Journal of Environmental Quality**, v. 39, p. 460-471, 2010.

ZACARIA, Z; GAIROLA, S; SHARIFF, N M. Effective Microorganisms (EM) Technology for Water. *Quality Restoration and Potential for Sustainable Water Resources and Management*. In: International Congress on Environmental Modelling and Software, 2010, Ottawa. **Anais**. Disponível em: <<https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2010/all/142/>> Acesso em 20 jan. 2023.