

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MIRIEL BONADIMAN ZANOL

**ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS DE MINAS  
GERAIS: AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO SEU  
POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO.**

**Alfenas/MG**

**2023**

**MIRIEL BONADIMAN ZANOL**

**ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS DE MINAS  
GERAIS: AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO  
SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Reaproveitamento de resíduos agroindústrias.

Orientador: Prof. Dr. André Aguiar Mendes

**Alfenas/MG**

**2023**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Zanol, Miriel Bonadiman.

Águas Residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais:  
avaliação de suas características, tratamento e do seu potencial  
biotecnológico / Miriel Bonadiman Zanol. - Alfenas, MG, 2023.  
105 f. : il. -

Orientador(a): André Aguiar Mendes.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de  
Alfenas, Alfenas, MG, 2023.  
Bibliografia.

1. Indústria de proteína animal. 2. Agroindústria. 3. Tratamento de águas  
residuárias. 4. Legislação ambiental. 5. Reúso. I. Mendes, André Aguiar,  
orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

**MIRIEL BONADIMAN ZANOL**

**ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS DE MINAS GERAIS: AVALIAÇÃO DE SUAS  
CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Reaproveitamento de resíduos agroindústrias.

Aprovado em: 27 de novembro de 2023.

Prof. Dr. André Aguiar Mendes  
Presidente da Banca Examinadora  
Instituição: Universidade Federal de Itajubá

Profa. Dra. Jaine Honorata Hortolan Luiz  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Giovana Tommaso  
Instituição: Universidade de São Paulo



Documento assinado eletronicamente por **André Aguiar Mendes, Usuário Externo**, em 27/11/2023, às 16:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1144013** e o código CRC **8AE4496A**.

Com amor a minha esposa Bruna e  
minhas filhas Valentina e Manuela.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) pela oportunidade de desenvolvimento educacional que, mesmo em momentos de pandemia viabilizou que os estudos e pesquisas não parassem.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (PPGBIOTEC) por proporcionar aulas, ferramentas e dinâmicas que possibilitaram o desenvolvimento do meu mestrado.

Ao Professor Dr. André Aguiar Mendes, com pulso firme se fez presente e com gentileza conduziu orientação, incentivo e paixão pela ciência. Foi uma honra pesquisar ao lado de um grande mestre.

À Dra. Jaine Honorata Hortalan Luiz e Dra. Giovana Tommaso, que com expertise compartilharam seus conhecimentos técnicos de forma que a dissertação avançasse nos níveis acadêmicos.

Ao Juan Pablo Pereira Lima, pelas considerações significativas que culminaram na conclusão desse trabalho.

Aos colegas de turma do programa de pós-graduação, em especial ao Diego Borges Tabelini que me auxiliou e incentivou dentro e fora de sala.

Por último, não menos importante, a minha família que me apoia incondicionalmente para meu desenvolvimento profissional e pessoal, estima resiliência, me conduz com paciência e norteia meus passos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Financiamento 001.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

(BRASIL, 1988, Art. 225)

## RESUMO

O estado de Minas Gerais é um dos maiores produtores de proteína animal do Brasil. As atividades de abatedouros e frigoríficos geram águas residuárias altamente poluidoras. O trabalho consiste de um levantamento das características e formas de tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos do estado de Minas Gerais. As águas residuárias brutas apresentaram alta concentração de matéria orgânica, com valores máximos em torno de 30.000 mg.L<sup>-1</sup> para DQO e 16.000 mg.L<sup>-1</sup> para DBO<sub>5</sub>. Para a maior parte das águas residuárias brutas, a razão DBO<sub>5</sub>/DQO esteve acima de 0,4, inferindo que pelo menos 40% de sua matéria orgânica é biodegradável. Ao contrário de nitrogênio, a quantidade de fósforo necessária para tratamento biológico, seja aeróbio ou anaeróbio, em alguns efluentes esteve abaixo do ideal. Em geral, as águas residuárias tratadas estiveram de acordo com a legislação estadual ao considerar as remoções de DQO e DBO<sub>5</sub>. Quanto aos processos envolvidos na remoção de poluentes, foi verificado que as estações de tratamento de efluentes (ETEs) utilizam de algum tipo de pré-tratamento (peneiras, caixas de gordura) para remover sólidos grosseiros e material graxo, comumente seguido de processos biológicos, na sua maioria lagoas anaeróbias e/ou aeradas (ou facultativas). No entanto, a falta de um processo aeróbio no final do tratamento de algumas ETEs, além de um sistema que permita melhor remoção dos flocos biológicos, podem ser a causa de valores acima do permitido para N-NH<sub>4</sub> e SST. A fertirrigação tem demonstrado ser promissora para a destinação de efluentes tratados, contudo a presença de *Escherichia coli* deve ser monitorada para essa prática agrícola. Quanto às tecnologias alternativas de tratamento, a maioria delas tem atendido ao parâmetro mais avaliado nos estudos, a DQO. Contudo, tais tecnologias possuem limitações a serem superadas para que sejam implementadas. Foram também verificados em alguns desses tratamentos alternativos o acúmulo de biomassa algácea, da qual podem ser obtidos produtos biotecnológicos, além de biossurfactantes que podem ser produzidos a partir de gordura flotada.

Palavras-chave: Indústria de proteína animal; agroindústria; tratamento de águas residuárias; legislação ambiental, reúso

## ABSTRACT

The state of Minas Gerais is one of the largest producers of animal protein in Brazil. Slaughterhouse activities generate highly polluting wastewater. The work consists of a survey of the characteristics and methods of treating wastewater from slaughterhouses in the state of Minas Gerais. The raw wastewater showed a high concentration of organic matter, with maximum values around 30,000 mg.L<sup>-1</sup> for COD and 16,000 mg.L<sup>-1</sup> for BOD<sub>5</sub>. For most raw wastewater, the BOD<sub>5</sub>/COD ratio was above 0.4, inferring that at least 40% of its organic matter is biodegradable. Unlike nitrogen, the amount of phosphorus required for biological treatment, whether aerobic or anaerobic, in some wastewaters was below ideal. In general, the treated wastewater was in accordance with state legislation when considering COD and BOD<sub>5</sub> removals. Regarding the processes involved in removing pollutants, it was found that wastewater treatment plants (WWTPs) use some type of pre-treatment (screens, grease traps) to remove coarse solids and fatty material, commonly followed by biological processes, in most of them anaerobic and/or aerated (or facultative) lagoons. However, the lack of an aerobic process at the end of the treatment of some WWTPs, in addition to a system that allows better removal of biological flocs, may be the cause of values above those allowed for N-NH<sub>4</sub> and TSS. Fertigation has shown promise for the disposal of treated wastewater, however the presence of *Escherichia coli* must be monitored for this agricultural practice. Regarding alternative treatment technologies, most of them have met the most evaluated parameter in studies, the DQO. However, such technologies have limitations that must be overcome in order to be implemented. The accumulation of algal biomass was also verified in some alternative treatments, from which biotechnological products can be obtained, in addition to biosurfactants that can be produced from floated fat.

Keywords: animal protein industry; agroindustry; wastewater treatment; environmental law; water reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Posição do Brasil na produção e exportação de carnes no mundo e de Minas Gerais na produção nacional de carnes.....	14
Figura 2 - Principais etapas e fontes geradoras de águas residuárias durante o abate e processamento de carne animal.....	17
Figura 3 - Localização geográfica das cidades do estado de Minas Gerais contendo dados de caracterização e tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos abordados nesse trabalho .....	24
Figura 4 - Correlação linear DQO x DBO <sub>5</sub> para águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	36
Figura 5 - Correlação linear DQO x DBO <sub>5</sub> para águas residuárias tratadas preliminarmente de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	42
Figura 6 - Correlação linear DQO x DBO <sub>5</sub> para águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	59
Figura 7 - Fotobiorreator de coluna de bolhas para cultivo de microalgas e tratamento água residuária de industria de processamento de carne .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de lançamento de águas residuárias industriais .....	22
Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	27
Tabela 3 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias preliminares de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.....	38
Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas primárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	43
Tabela 5 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para as águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	45
Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	49
Tabela 7 - Faixa e média de parâmetros para os dados de águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.....	60
Tabela 8 - Faixa e média de parâmetros para os dados de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....	61
Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes .....	65
Tabela 10 - Características de águas residuária de abatedouros e frigoríficos tratadas em escala de bancada .....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIA	Associação Brasileira das Industrias da Alimentação
ABIEC	Associação Brasileira das Industrias Exportadoras de Carne
ABPA	Associação Brasileira de Proteina Animal
BREF	Reference Document on Best Available Techniques (Documento de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis)
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Políticas Ambientais
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (Organização de Alimentação e Agricultura)
FT	Fosforo Total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
NT	Nitrogênio Total
NTU	Unidade de Turbidez Nefolométrica
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total
O&G	Óleos e Graxas
pH	Potencial Hidrogeniônico
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Minas Gerais
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Geração de águas residuárias em abatedouros e frigoríficos.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Reaproveitamento biotecnológico de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização de águas residuárias brutas.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização de águas residuárias tratadas preliminares .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3</b>	<b>Caracterização de águas residuárias tratadas a nível primário. ....</b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Avaliação da proporção entre matéria orgânica e nutrientes para processos biológicos de tratamento. ....</b>	<b>44</b>
<b>5.5</b>	<b>Caracterização de águas residuárias tratadas a nível secundário. ....</b>	<b>46</b>
<b>5.6</b>	<b>Aspectos gerais de águas residuárias brutas e tratadas .....</b>	<b>59</b>
<b>5.7</b>	<b>Tratamentos convencionalmente adotados para remediar águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.....</b>	<b>62</b>
<b>5.8</b>	<b>Tratamentos convencionais e gestão de resíduos sólidos .....</b>	<b>74</b>
<b>5.9</b>	<b>Tecnologias alternativas para remediar águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....</b>	<b>75</b>
<b>5.9.1</b>	<b>Coagulantes alternativos .....</b>	<b>75</b>
<b>5.9.2</b>	<b>Biorremediação com microalgas. ....</b>	<b>76</b>
<b>5.9.3</b>	<b>Processos anaeróbios não convencionais.....</b>	<b>79</b>
<b>5.10</b>	<b>Reaproveitamento biotecnológico de efluente de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais .....</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>

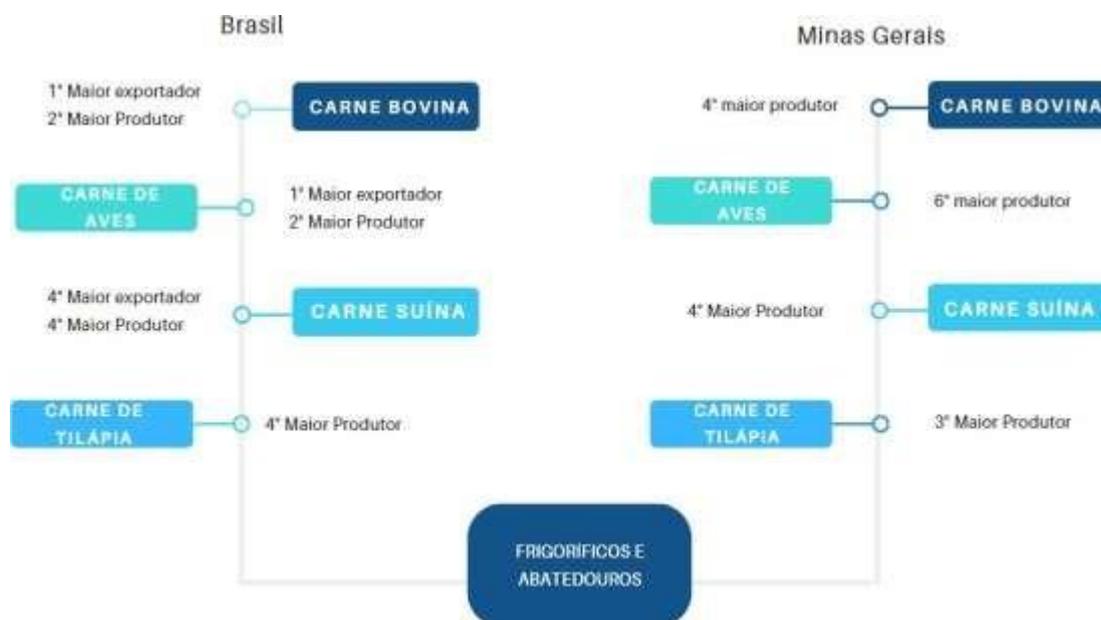
## 1 INTRODUÇÃO

O setor de abatedouros e frigoríficos desempenha um papel importante nas economias brasileira e global. Em 2021, o Brasil conquistou o primeiro lugar mundial em termos de exportação e alcançou o segundo lugar na produção de carne bovina e de aves (ABIA, 2022). No mesmo ano, o preço da carne bovina teve um aumento de 32%, enquanto para as carnes suína e de frango os aumentos foram de 31% e 20%, respectivamente (IBGE, 2022). A produção de carnes de frango, bovina e suína no Brasil está projetada para alcançar 33 milhões de toneladas até o final dessa década, representando um aumento de 27,3% (BRASIL, 2023).

O setor de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais destaca-se no cenário nacional de produção de carnes bovina, suína e de frango, tendo alcançado em torno de 1 milhão de ton. em 2021. No mesmo ano, houve uma evolução de aproximadamente 3% no rebanho bovino do estado comparado ao ano anterior, e isso representou 11,3% do total no país (ABIEC, 2022). Minas Gerais possui 56 estabelecimentos licenciados de abatedouros e/ou frigoríficos para animais terrestres, que juntos faturam em torno de \$2 bilhões ao ano (BRASIL, 2023). Devido a isso, o estado tem uma participação significativa no suprimento de proteína animal, estando entre os cinco maiores estados produtores do Brasil (ABPA, 2022; IBGE, 2022).

A piscicultura também tem apresentado um destaque significativo no setor de proteína animal. Em 2020, a carne de peixe representou 20% da produção global de alimentos de origem animal (FAO, 2022). Em 2022, o Brasil produziu 860,4 mil ton, sendo que 64% desse total correspondeu à tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). O estado de Minas Gerais chegou a produzir 54,7 mil ton de peixe (94,5% em tilápia), representando um aumento de 11,4% em comparação a 2021 (PEIXEBR, 2023). A Figura 1 mostra a posição do Brasil na produção e exportação de carnes. A mesma Figura mostra a participação de Minas Gerais frente aos outros estados da federação.

Figura 1 - Posição do Brasil na produção e exportação de carnes no mundo e de Minas Gerais na produção nacional de carnes.



Fonte: Adaptado de ABIEC (2022)., ABIA (2022)., PEIXEBR (2023).

Devido à significativa produção de proteína animal em Minas Gerais e à sua relevância econômica dentro do cenário brasileiro, o presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento dos principais parâmetros de caracterização reportados para águas residuárias brutas e tratadas, as quais foram geradas em abatedouros e/ou frigoríficos desse estado. Os dados de caracterização foram avaliados perante às legislações federal e estadual quanto ao lançamento de águas residuárias tratadas em corpos hídricos e na fertirrigação. Avaliação de correlações lineares entre parâmetros de caracterização, como DQO e DBO<sub>5</sub>, foi realizada de forma a facilitar a caracterização de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos. Em adição, foi realizado um levantamento dos processos convencionais de tratamento de águas residuárias, os quais são adotados por abatedouros e/ou frigoríficos do estado. Considerando as limitações dos processos convencionais de tratamento, este trabalho também abordou tecnologias alternativas de tratamento avaliadas em escala de bancada e também possíveis produtos biotecnológicos que podem ser obtidos a partir desses resíduos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo principal consistiu em reunir dados da literatura a respeito da composição do efluente de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais, verificando as características do tratamento, para minimizar impactos decorrentes de lançamentos inadequados desses rejeitos no ambiente.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Avaliar os parâmetros de caracterização de água residuária bruta, preliminar, primária e secundária.
- b) Avaliar correlações lineares entre os parâmetros de concentração de matéria orgânica.
- c) Avaliar a proporção entre matéria orgânica e nutrientes para direcionar o tipo de tratamento biológico.
- d) Verificar resultados dos parâmetros de qualidade de água com a legislação vigente quanto ao descarte em cursos d'água e ao reúso na agricultura.
- e) Analisar o desempenho de tratamentos convencionais e gestão de resíduo sólido
- f) Analisar tecnologias alternativas para remediar águas residuárias.
- g) Avaliar o potencial biotecnológico desse efluente como matéria prima alternativa e renovável.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

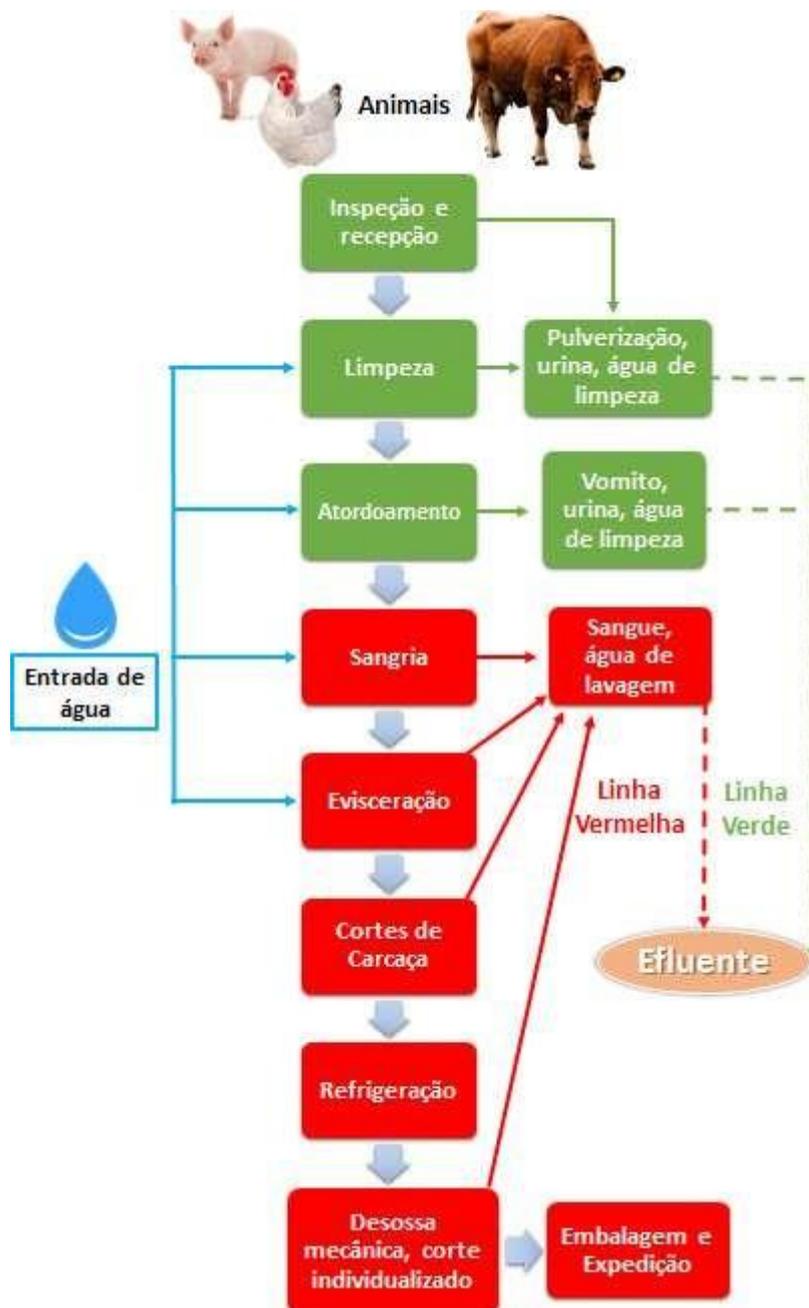
#### 3.1 Geração de águas residuárias em abatedouros e frigoríficos

O abate de animais demanda um elevado consumo de água para manter as operações e padrões de higienização requeridos, gerando principalmente duas categorias de resíduos líquidos: linha verde, que consiste de esterco, resíduo estomacal e intestinal; e a linha vermelha, a qual é constituída de sangue, além de resíduos sólidos de várias etapas do processamento, como ossos, sebo, cascos, entre outros (BUSTILLO-LECOMPTE., MERHVAR, 2015). A água residuária proveniente do processamento da carne em frigoríficos também se insere na linha vermelha (PACHECO., YAMANAKA, 2006). A Figura 2 mostra as principais fontes geradoras de águas residuárias em abatedouros e/ou frigoríficos.

A quantidade de águas residuárias é influenciada pelo tipo de animal abatido. Para o abate e processamento de um bovino são gerados 0,54 e 1,63 m<sup>3</sup> de água residuária das linhas verde e vermelha, respectivamente (PACHECO., YAMANAKA, 2006). Em relação à produção de carne suína, estima-se que sejam gerados de 1,6 a 9 m<sup>3</sup> de água residuária por ton de animal abatido, enquanto no abate e processamento de aves estima-se a geração de 4 a 30 m<sup>3</sup> de água residuária por ton de carne (BREF, 2021). No processamento de peixes, estima-se a geração de cerca de 0,9 e 3,8 m<sup>3</sup> de água residuária por ton de carne processada na etapa de lavagem e de evisceração, respectivamente (BEM LUIZ *et al.*, 2020). Segundo Venugopal e Sasidharan (2021), uma das maiores empresas europeia de processamento de arenque gera 10,8 m<sup>3</sup> de água residuária por tonelada de peixe.

Os abatedouros e frigoríficos estão entre as maiores fontes poluidoras de corpos hídricos. Em geral, suas águas residuárias possuem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, o que favorece a manifestação de bactérias heterotróficas e outros microrganismos, os quais consomem o oxigênio disponível do corpo hídrico receptor. A quantidade significativa de nutrientes em efluentes pode causar a eutrofização (NG *et al.*, 2022), além da toxicidade a organismos aquáticos devido à presença de amônia livre (PAN *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2016).

Figura 2 - Principais etapas e fontes geradoras de águas residuárias durante o abate e processamento de carne animal.



Fonte: do autor.

Estudos recentes de avaliação de impacto ambiental têm mostrado que a qualidade de corpos hídricos é comprometida devido ao descarte de águas residuárias não tratadas de abatedouros e frigoríficos (OLANIRAN *et al.*, 2019; OMONI *et al.*, 2023). Portanto, elas devem ser tratadas para que atendam aos padrões de descarte estabelecidos por agências ambientais para proteção dos corpos hídricos receptores (DUTRA *et al.*, 2013; PACHECO., YAMANAKA,

2006).

### **3.2 Tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos**

Ao avaliar os tipos de processos de tratamento, é preciso considerar as características do resíduo, os padrões de descarte, assim como os custos operacionais envolvidos (GHUMRA *et al.*, 2021). Inicialmente, o tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos normalmente consiste de processos físicos e físico-químicos com o objetivo de remover sólidos grosseiros e material graxo, respectivamente. Em seguida, os poluentes dissolvidos são removidos por microrganismos no tratamento secundário (Ng *et al.*, 2022). Os resíduos sólidos separados nos processos físicos e físico-químicos costumam ser processados em graxarias para produzir sebo e farinha, a qual contém alto teor proteico para compor ração animal (REBOUÇAS *et al.*, 2010; ZAGKLIS *et al.*, 2020).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão ambiental que estabelece as condições e os padrões de lançamento de águas residuárias em corpos hídricos no Brasil. O monitoramento do tratamento de águas residuárias é realizado por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estabelecidos na Resolução 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011). Certos estados brasileiros possuem normas próprias e mais restritivas. No estado de Minas Gerais, o tratamento de águas residuárias deve atender a Deliberação Normativa Conjunta 01/2008, do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) (MINAS GERAIS, 2008).

Alguns dos principais parâmetros de caracterização de águas residuárias e presentes nas legislações ambientais são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), óleos e graxas (O&G), Sólidos Sedimentáveis (SSed), Sólidos Suspensos Totais (SST), pH, metais, temperatura e nutrientes (N e P). Considerando os parâmetros de concentração de matéria orgânica, a DBO indica a concentração de matéria orgânica biodegradável presente na água residuária, medida pela quantidade de oxigênio necessária para oxidação mediante processos bioquímicos aeróbios por 5 dias (DBO<sub>5</sub>). Por outro lado, a DQO indica a concentração de matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável. Ao contrário da DBO<sub>5</sub>, a

análise de DQO pode ser realizada em menos de 3 h (VON SPERLING, 2007), sendo mais comumente utilizada para estudos de tratamentos de águas residuárias em escala de bancada (RAMOS *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2022).

É possível avaliar a biodegradabilidade de águas residuárias por meio da razão DBO<sub>5</sub>/DQO. Valores de razão acima de 0,4 indicam que um resíduo pode ser tratado biologicamente, pois ele possui no mínimo 40% de compostos biodegradáveis. Os processos biológicos são uma escolha apropriada para o tratamento, pois são eficientes na remoção de poluentes orgânicos e geralmente apresentam baixo custo (VON SPERLING, 2007; GHUMRA *et al.*, 2021). Por meio desses dois parâmetros de caracterização de água residuária também é possível inferir uma correlação linear como forma de estimar DBO<sub>5</sub> a partir da DQO, uma vez que a análise do último é mais rápida que a do primeiro (SILVA., MENDONÇA, 2003).

Quanto à destinação de águas residuárias tratadas, é possível reaproveitar tal recurso hídrico na agricultura. Recentemente, o CONAMA publicou a resolução 503/2021, a qual define os padrões de reúso na irrigação para águas residuárias provenientes de indústrias alimentícias, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias (BRASIL, 2021). Esta forma de disposição pode ser uma alternativa viável às águas residuárias tratadas de abatedouros e frigoríficos, uma vez que, além de atender a demanda hídrica na agricultura, elas contêm nutrientes residuais que são essenciais ao solo (OLIVEIRA *et al.*, 2017c; MATHEYARASU *et al.*, 2016; MENEGASSI *et al.*, 2020).

### **3.3 Reaproveitamento biotecnológico de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos.**

O reaproveitamento biotecnológico se apresenta como uma abordagem promissora para efluentes da agroindústria, possibilitando convertê-los em alimentos, matérias-primas comerciais e contribuir com a sustentabilidade (MIKSCH *et al.*, 2015). Essa estratégia se baseia na utilização de microrganismos (bactérias, fungos ou algas) para gerar algum tipo de produto de valor agregado a partir dos poluentes contidos no efluente, os quais servem de substrato (FEDERICI *et al.*, 2009).

O cultivo de microalgas em efluente de abatedouros/frigoríficos se apresenta como uma alternativa interessante, uma vez que diminui o impacto

ambiental associando sua disposição em corpos d'água sem tratamento prévio em um cenário de crescente escassez de água e de aumento dos preços dos nutrientes (PIRES *et al.*, 2013). Dentre as inúmeras vantagens, as microalgas possuem crescimento rápido, capacidade de produção ao longo de todo o ano, alta produtividade lipídica, efeito positivo na qualidade do ar fixando CO<sub>2</sub>, além de gerar coprodutos como proteínas e a biomassa residual, as quais podem ser utilizadas tanto para a produção de fertilizante e ração animal, quanto para produção de metano e etanol (TANGO, 2015).

O desempenho das microalgas na remoção de N e P em efluentes de abatedouro e frigorífico é superior ao do lodo ativado, o que pode permitir o descarte legal desse efluente em termos de nutrientes (DIAS *et al.*, 2019). Importante ressaltar que o nitrogênio e fosfato são importantes macronutrientes para o metabolismo das microalgas. O nitrogênio é um componente essencial para formação de proteínas, ácidos nucleicos e pigmentos fotossintetizantes, enquanto o fósforo está ligado a processos que envolvem açúcares fosfatados, ácidos nucleicos e fosfolipídios constituintes de membranas (JUNEJA *et al.*, 2013).

Comumente em águas residuárias de abatedouros e frigoríficos promove-se um pré-tratamento a fim de remover, principalmente, a gordura. Essas gorduras podem servir de substrato para uma variedade de microrganismos que tendem a atuar em interfaces entre fluidos imiscíveis, promovendo assim, maior disponibilidade dos componentes presentes para a biodegradação.

As bactérias do gênero *Pseudomonas* e *Bacillus sp.* são descritas na literatura como grandes produtoras de biossurfactantes (CHAPRÃO *et al.*, 2015). Elas podem produzir biossurfactantes quando crescem em diferentes substratos, utilizando diferentes fontes de carbono e com suas propriedades emulsificantes e anfílicas, eles são vistos de forma positiva quando se propõe atividades específicas sua para aplicação (SARMA *et al.*, 2019).

Os biossurfactantes são geralmente classificados de acordo com sua origem microbiana e com sua composição. Entre as principais classes se destacam os glicolipídios, lipopeptídios e lipoproteínas, fosfolipídios e ácidos graxos, surfactantes poliméricos e surfactantes particulados que, de um modo geral contêm uma ou várias porções lipofílicas e hidrofílicas (RIBEIRO *et al.*,

2020). A aplicação de dois biossurfactantes da bactéria *Bacillus sp.* e *Pseudomonas aeruginosa* promoveu uma remoção de óleo em águas oleosas em torno de 90% (SILVA *et al.*, 2018). Além disso, sua atividade contra fungos fitopatogênicos e de seu potencial larvicida e mosquitocida, os biossurfactantes glicolipídicos permitem a preservação de plantas e culturas vegetais da invasão de pragas. Como resultado de suas atividades emulsificantes e antibacterianas, os glicolipídios têm grande potencial como aditivos e conservantes alimentares (MNIF., GHRIBI, 2016).

#### 4 METODOLOGIA

O presente levantamento bibliográfico consistiu em consultar dados entre 2011 e 2022 em artigos publicados em periódicos, trabalhos apresentados em congressos, dissertações e teses que abordaram a caracterização e o tratamento de águas residuárias de abatedouros e/ou frigoríficos localizados no estado de Minas Gerais. Águas residuárias provenientes do confinamento de animais foram desprezadas. Foram consultadas bases de dados científicos como *Scopus*, *Scielo*, *Google Scholar* e *Web of Science*. Documentos de licenciamento ambiental da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD) foram também usados para obter informações adicionais a respeito de processos convencionais de tratamento de águas residuárias em abatedouros e/ou frigoríficos, além das formas de disposição das águas residuárias tratadas.

Os principais parâmetros físicos e químicos de caracterização de águas residuárias avaliados foram: DQO, DBO<sub>5</sub>, pH, sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SSed), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), nitrogênio total, fósforo e óleos e graxas (O&G). Os dados de caracterização de águas residuárias brutas, tratadas e/ou parcialmente tratadas foram avaliados quanto à sua magnitude e comparados aos padrões de descarte estabelecidos por agências ambientais (CONAMA e COPAM/CERH), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de lançamento de águas residuárias industriais.

Parâmetros	CONAMA 430/2011	COPAM/CERH-MG 01/2008
pH	5,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Temperatura (°C)	< 40	< 40
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Remoção mínima de 60%	60 ou remoção mínima de 75%
DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	-	180 ou remoção mínima de 70%
O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	< 50	< 50
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	-	< 100 (150 para lagoas de estabilização)
SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	< 1	< 1
N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	< 20	< 20
Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	-	< 2

Fonte: BRASIL, 2011., MINAS, 2008.

As águas residuárias tratadas também foram avaliadas quanto aos padrões de reúso na fertirrigação (BRASIL, 2021). Os dados de alguns parâmetros de caracterização foram avaliados na tentativa de estabelecer correlação linear entre eles. Também foi avaliada a biodegradabilidade (razão  $DBO_5/DQO$ ) e a proporção entre matéria orgânica e nutrientes (C:N:P) como forma de verificar a necessidade ou não de suplementar nutricionalmente essas águas residuárias para possibilitar o seu tratamento biológico.

Quando as fontes consultadas reportaram dados de caracterização de mais de uma amostra coletada de uma mesma empresa, todas as amostras foram utilizadas. Quando apenas os valores médios dos parâmetros de caracterização foram reportados, esses foram utilizados, exceto valores de pH, pois essa grandeza não é linear, impossibilitando calcular sua média. Porém, valores máximos e mínimos de pH discriminados pelas fontes consultadas foram considerados.

Estudos abordando tecnologias alternativas de tratamento e reaproveitamento dessas águas residuárias também foram avaliadas quanto aos padrões de descarte em corpos hídricos e reúso na fertirrigação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do levantamento de características e do tratamento de águas residuárias geradas por abatedouros e frigoríficos, foram encontrados dados para mais de 40 municípios de Minas Gerais (Figura 3). As águas residuárias caracterizadas foram provenientes do abate de aves, peixes, suínos e bovinos. Alguns abatedouros e frigoríficos processam carnes de mais de um tipo de animal, enquanto outros são específicos para um determinado animal.

Figura 3 - Localização geográfica das cidades do estado de Minas Gerais contendo dados de caracterização e tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos abordados nesse trabalho.



Fonte: do autor.

### 5.1 Caracterização de águas residuárias brutas

A Tabela 2 apresenta os dados de caracterização de águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais. Os parâmetros de caracterização mais comumente encontrados foram DQO, DBO<sub>5</sub> e SST. Verificou-se que as amostras possuem alta concentração de matéria orgânica,

com valores máximos de DQO e DBO<sub>5</sub> em torno de 30000 e 16000 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Nenhuma das fontes consultadas quantificou matéria orgânica na forma de carbono orgânico total (COT).

Para quase todas as amostras o pH esteve em conformidade com as legislações estadual e federal. Supostamente, não há a necessidade de ajuste de pH dessas águas residuárias prévio ao tratamento secundário, o qual geralmente requer pH próximo de 7 para favorecer atividade bacteriana (VON SPERLING, 2007; NG *et al.*, 2022).

Embora poucas águas residuárias tenham sido caracterizadas quanto ao nitrogênio amoniacal, os valores reportados em cinco delas estiveram acima do máximo permitido para descarte, demonstrando a necessidade de remoção desse poluente. Em altas concentrações, o nitrogênio amoniacal pode causar toxicidade aguda a organismos aquáticos (LEE *et al.*, 2016; GRADVOHL., AQUINO, 2022). A análise de nitrogênio Kjeldahl total (NKT) permite quantificar as formas orgânica e também amoniacal de nitrogênio, excluindo nitrito e nitrato (VON SPERLING, 2007). Dados de nitrogênio total foram quantificados em apenas 10 amostras, sendo que em oito delas foi avaliado na forma de NKT. As proteínas presentes nessas águas residuárias devem ser as principais fontes de nitrogênio. Embora tenham sido encontradas apenas duas amostras de SWW com concentração abaixo do máximo permitido de N-NH<sub>4</sub> para descarte, as outras formas nitrogenadas podem causar eutrofização (VON SPERLING, 2007). O fósforo foi pouco reportado, com concentração média em torno de 20 mg.L<sup>-1</sup>. De acordo com o CONAMA (BRASIL, 2011), o órgão ambiental competente poderá estabelecer padrões específicos para a concentração máxima de fósforo em locais com histórico de floração de cianobactérias, especialmente em trechos de captação de água para abastecimento público.

Dentre os dados de O&G, foi verificada uma concentração acima de 1500 mg.L<sup>-1</sup>, que corresponde a 30 vezes a concentração máxima permitida para descarte. Esses poluentes são geralmente provenientes da evisceração e lavagem de carcaças gordurosas (NJOYA *et al.*, 2019). Em altas concentrações, O&G podem reduzir a oxigenação atmosférica e impedir a penetração de luz em corpos hídricos receptores, afetando a fotossíntese e prejudicando o ecossistema aquático (BUSTILLO-LECOMPTÉ., MEHRVAR,

2015). Embora a concentração de surfactantes tenha sido pouco reportada, essas águas residuárias normalmente contêm tais poluentes devido à utilização de detergentes em processos de higienização, principalmente para remover material graxo (PACHECO., YAMANAKA, 2006). A depender da concentração de surfactantes, eles podem impactar o meio ambiente em curto e longo prazo, pois muitos deles são resistentes a biodegradação e suas propriedades lipossolventes tem efeito bactericida, prejudicando o ecossistema. Além disso, eles podem comprometer os processos biológicos da ETE (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHRVAR, 2016b).

Todas as amostras apresentaram valores de SST e SSed superiores aos máximos permitidos conforme as legislações estadual e federal. Isso indica que os sólidos suspensos necessitam ser removidos de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos. Para os poucos trabalhos que avaliaram a presença de patógenos (LIMA, 2014; SOUSA *et al.*, 2022), a concentração de coliformes totais (CT) variou de  $3,5 \times 10^2$  a  $2,4 \times 10^7$  NMP.100 mL<sup>-1</sup>. Mesmo que esse parâmetro não seja exigido pela legislação ambiental para descarte, alguns desses valores excederam  $1 \times 10^4$  NMP.100 mL<sup>-1</sup>, o qual é o máximo permitido de bactéria *E. coli* em águas residuárias para a irrigação de pastagens (BRASIL, 2021). Esses resultados reforçam a necessidade do tratamento adequado para redução de patógenos em águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos.

O índice de biodegradabilidade (DBO<sub>5</sub>/DQO) foi determinado para as amostras em que ambos os parâmetros de concentração de matéria orgânica foram quantificados. Para menos de 5% delas a razão foi inferior a 0,15, indicando uma baixa biodegradabilidade. Aproximadamente 35% das amostras apresentaram razão entre 0,15 e 0,40, o que indica uma biodegradabilidade moderada, enquanto para mais de 60% foi verificada uma biodegradabilidade acima de 0,4, favorecendo o uso de processos biológicos de tratamento, pois a fração de matéria orgânica biodegradável a ser removida é significativa (VON SPERLING, 2007; NJOYA *et al.*, 2019).

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continua)

Município/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	375	3664	0,10	-	-	-	Borges <i>et al.</i> (2015)
Montes Claros/ Abatedouro de bovinos	3000	10600	0,28	-	60	-	Dias <i>et al.</i> (2016)
Não informado	1161,5	3163,6	0,37	-	-	-	Dutra <i>et al.</i> (2013)
	16000	29200	0,55	-	-	-	
	3157	5651,8	0,56	-	-	-	
Frigorífico de pescado	351	1089	0,32	-	-	553	Dutra <i>et</i>
	2173	3589	0,61	-	-	2560	<i>al.</i> (2016); Marques e Dutra (2022)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	1490	2924	0,50	96/86*	3,52	-	Lima (2014)
Frigorífico de pescados	502	1195	0,42	-	-	-	Lima (2019)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	4085	-	-	-	-	Lopes <i>et al.</i> (2011)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	2084	3097	0,67		-	-	Lopes (2013)

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	1807	476	-	-	6,48	Borges <i>et al.</i> (2015)
Montes Claros/ Abatedouro de bovinos	24,7	-	304	100	-	6,7	Dias <i>et al.</i> (2016)
Não informado	-	-	-	-	-	-	Dutra <i>et al.</i> (2013)
	-	-	-	-	-	-	
Frigorífico de pescado	26	-	-	-	-	6,88	Dutra <i>et</i>
	19	-	-	-	-	6,25	<i>al.</i> (2016); Marques e Dutra (2022)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	28	2515	779	-	61,55	6,4- 7,5	Lima (2014)
Frigorífico de pescados	-	-	-	-	-	-	Lima (2019)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	3577	981	-	-	-	Lopes <i>et al.</i> (2011)

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> /DQO	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Região central/ frigorífico de pescado	-	9687,5	-	-	6	-	Melo <i>et al.</i> (2022)
Patos de Minas/ Graxaria	490,8	1088	0,45	469	20,6	-	Oliveira (2014)
Passos/ Abatedouro de bovinos	1525,5	-	-	-	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Inconfidentes/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	1186,4	-	-	-	-	Paiva <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte/ Abatedouro de bovinos	-	27120	-	517	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	943	3553	0,26	123*	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Belo Horizonte/ Abatedouro de suínos e bovinos	14160	30433	0,46	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2015)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	658	1725	0,38	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	1903	3626	0,52	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	16,5	3180	-	-	-	-	Lopes (2013)
Região central/ frigorífico de pescado	75	1317	-	-	-	5,5- 6,5	Melo <i>et al.</i> (2022)
Patos de Minas/ Graxaria	-	-	-	-	-	8	Oliveira (2014)
Passos/ Abatedouro de bovinos	-	-	-	-	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Inconfidentes/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	-	-	-	-	-	Paiva <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte/ Abatedouro de bovinos	95	-	3444	-	-	6,2- 7,28	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	1071	-	-	5,5- 7,5	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Belo Horizonte/ Abatedouro de suínos e bovinos	-	-	5052	115	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2015)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	388	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	-	-	841	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> /DQO	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	900	5200	0,17	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	1460	2924	0,49	-	-	-	Santos <i>et al.</i> (2015)
Ibirité/ Abatedouro e frigorífico de bovinos	954,4	1625	0,59	-	-	-	Minas Gerais (2017c)
Baependi/ Abatedouro de bovinos	3205	5382	0,60	-	-	-	Minas Gerais (2017d)
Uberaba/ Abatedouro e frigorífico de suínos e bovinos	1179	2268,4	0,51	-	-	2,4	Minas Gerais (2019b)
São Gotardo/ Abatedouro e frigorífico de suínos e bovinos	10879,9	26366,67	0,41	-	-	-	Minas Gerais (2021q)
Uberlândia/ Abatedouro e frigorífico de suínos	371,06	1203,80	0,31	-	-	0,5	Minas Gerais (2022a)
Lavras/ Frigorífico	2035	4067	0,50	262*	24,9	-	Gomes <i>et al.</i> (2013)
	2010	3782	0,53	229*	22,7	-	
	2570	6550	0,39	193*	32,5	-	
	667	2683	0,25	141*	10,6	-	

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	700	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	779	-	-	-	Santos <i>et al.</i> (2015)
Ibirité/ Abatedouro e frigorífico de bovinos	-	-	-	15	398	-	Minas Gerais (2017c)
Baependi/ Abatedouro de bovinos	-	-	-	-	1539	-	Minas Gerais (2017d)
Uberaba/ Abatedouro e frigorífico de suínos e bovinos	-	-	476,67	5,50	111,5	7,02	Minas Gerais (2019b)
São Gotardo/ Abatedouro e frigorífico de suínos e bovinos	-	-	-	222,74	1257,57	-	Minas Gerais (2021q)
Uberlândia/ Abatedouro e frigorífico desuínos	-	-	-	32	-	7,6	Minas Gerais (2022a)
Lavras/ Frigorífico	-	-	-	-	-	-	Gomes <i>et al.</i> (2013)
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	

Fonte: do autor.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactante (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de Pescado	-	-	-	86,1*	9,2	-	Sousa <i>et al.</i> (2022)
Matozinhos/ Abatedouro de bovinos	-	30424	-	-	-	-	Spelta <i>et al.</i> (2013)
Lavras/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	4294	-	262*	24,9	-	Fia <i>et al.</i> (2015)
Sul do Estado/ Frigorífico de Pescado	658	1715	0,38	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos de efluentes brutos de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Conclusão)

Município/Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de Pescado	18,8	-	-	-	-	-	Sousa <i>et al.</i> (2022)
Matozinhos/ Abatedouro de bovinos	-	-	5052	113	-	-	Spelta <i>et al.</i> (2013)
Lavras/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	2368	1017	-	-	-	Fia <i>et al.</i> (2015)
Sul do Estado/ Frigorífico de Pescado	-	-	388	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

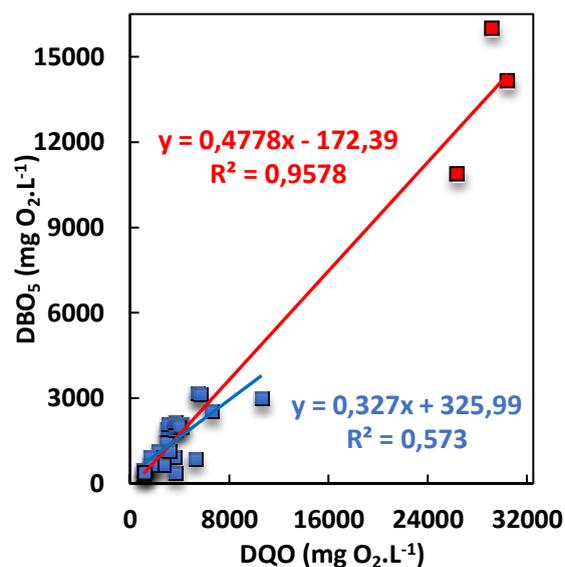
Fonte: do autor.

Como forma de facilitar a caracterização de águas residuárias e monitorar o tratamento em uma ETE, foi feita uma avaliação de correlação linear entre DQO e DBO<sub>5</sub>. Silva., Mendonça (2003) destacaram que estimar DQO a partir de DBO<sub>5</sub> permite reduzir o tempo de análise laboratorial, agilizando a tomada de decisões para aplicar medidas corretivas nas ETEs. Njoya *et al.* (2019) mencionaram que a existência de correlações lineares pode minimizar a geração de resíduos tóxicos em análises laboratoriais. Caso o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido da análise de correlação linear seja igual ou superior a 0,8, ele é considerado significativo. Se for entre 0,5 e 0,8 ele é moderado, enquanto para valores inferiores a 0,5 é considerado fraco (SANTOS, 2007).

Recentemente, Njoya *et al.* (2019) verificaram a existência de correlações lineares fortes entre DQO, DBO e O&G, mas somente em períodos de operação normal de um abatedouro. Por outro lado, para águas residuárias coletadas em períodos de limpeza dos equipamentos, as quais apresentaram mais material graxo, os autores não constataram correlações lineares fortes entre os parâmetros supracitados. Interessantemente, tentativas exitosas de estabelecer correlação linear foram também encontradas entre DQO e DBO<sub>5</sub>, mas a partir de águas residuárias brutas coletadas de diferentes indústrias de processamento de mandioca (COSTA *et al.*, 2022) e de cosméticos (LIMA *et al.*, 2022). Para o presente trabalho, essa avaliação foi feita para as águas residuárias de abatedouros e frigoríficos do estado de Minas Gerais.

Conforme mostra a Figura 4, foi verificada uma correlação forte a partir de quase 30 amostras de águas residuárias brutas. No entanto, seria ideal ter algumas amostras na região intermediária da reta, ao invés de estarem mais concentradas em suas extremidades. As poucas amostras que possuem valores mais altos de concentração induziram a um valor mais alto de  $R^2$ , pois ao serem excluídas o valor de  $R^2$  caiu consideravelmente, indicando uma correlação linear apenas moderada para a maioria das amostras. Considerando o estudo de Njoya *et al.* (2019), a correlação apenas moderada pode ser devido à concentrações significativas de O&G nas amostras avaliadas no presente trabalho.

Figura 4 - Correlação linear DQO x DBO<sub>5</sub> para águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais. Linha vermelha: correlação com todos os dados; linha azul: correlação considerando a exclusão das amostras mais concentradas.



Fonte: do autor.

## 5.2 Caracterização de águas residuárias tratadas preliminares

Por meio do levantamento de dados também foi possível encontrar a caracterização de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos preliminarmente tratadas. Nessa etapa do tratamento há a remoção de sólidos grosseiros por meio de grades e peneiras, com o objetivo de proteger equipamentos e tubulações de desgastes ou entupimentos (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHRVAR, 2015; GHUMRA *et al.*, 2021). Quando a água residuária é proveniente do abate de bovinos e suínos, os sólidos grosseiros consistem de ossos, carcaças, sebo e cascos. Em relação ao pescado, escamas, vísceras e pequenos peixes constituem os sólidos grosseiros (VENUGOPAL., SASIDHARAN, 2021). Para o abate de aves, os resíduos grosseiros mais comuns são as penas, cabeças, carcaças e vísceras (HILARES *et al.*, 2021).

A Tabela 3 mostra as características de águas residuárias tratadas a nível preliminar. Para muitos parâmetros há valores ainda bem superiores aos padrões de descarte. O pH esteve em conformidade com as legislações estadual e federal, exceto para uma amostra reportada por Pereira *et al.* (2015). Embora materiais graxos sejam removidos majoritariamente nas

peneiras e nas caixas de gordura (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHRVAR, 2015), um valor reportado de O&G chegou a ser quase 50 vezes o máximo permitido para descarte.

A variação dos valores de DQO foi de 1320 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> a 16678 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, e de DBO<sub>5</sub> foi de 386 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> a 2750 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Embora os valores mais altos de DQO e DBO<sub>5</sub> citados sejam inferiores aos máximos observados em águas residuárias brutas, eles ainda estão bem acima dos padrões de descarte. A quantificação de outros parâmetros como N-NH<sub>4</sub>, SST e SSed também apresentou valores bem mais altos que os padrões de lançamento. Em relação aos nutrientes, ainda é preciso remover nitrogênio amoniacal, pois foi verificado um valor até 6 vezes o máximo permitido. Para NTK, foi reportada uma concentração acima de 400 mg.L<sup>-1</sup>. O fósforo foi reportado em aproximadamente 25% das amostras, com concentração média em torno de 17,7 mg.L<sup>-1</sup>.

O índice médio de biodegradabilidade (DBO<sub>5</sub>/DQO) das águas residuárias tratadas preliminares foi de 0,51 indicando que processos biológicos são indicados para a sequência do tratamento (VON SPERLING, 2007). Como os valores de DQO são acima de 1300 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> é possível inferir que processos biológicos aeróbios não sejam os mais indicados, uma vez que eles são mais apropriados para águas residuárias contendo menos de 1000 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Águas residuárias mais concentradas requerem uma maior solubilização de O<sub>2</sub>, a qual é justamente prejudicada pela alta concentração de soluto. Além disso, a aeração artificial requerida para o metabolismo aeróbio demanda um elevado gasto de energia (VON SPERLING, 2007). Isso sugere que os processos biológicos anaeróbios sejam mais apropriados para tratar esse tipo de água residuária.

Tabela 3 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias preliminares de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continua)

Município/Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Viçosa/ Abatedouro de aves	-	3899	-	-	2219,15	1481	Combatt <i>et al.</i> (2017)
Não informado	2426	5195	0,46	272	-	2234	Januário (2012)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	935	1458	0,64	16,34	1750	22	Lima (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	1585	-	-	1330	316	Lopes <i>et al.</i> (2011)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	968	1400	0,69	-	1586	-	Lopes <i>et al.</i> (2013)
Passos/ Abatedouro de bovinos	1455	1650	0,88	-	-	-	Oliveira e Sá (2015)
	1596	1650	0,96	-	-	-	
Lavras/ Abatedouro de suínos	2360	5813	0,40	2403	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2017a;2017b; 2017c)
Campo Belo/ Abatedouro de bovinos	2285	7162	0,31	201		1600	Pereira <i>et al.</i> (2015)
e	2230	4196	0,53	73		850	
suínos	1400	3037	0,46	40		1000	
	2750	4913	0,55	65		1400	

Fonte: do autor.

Tabela 3 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias preliminares de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continua)

Município/Especificação	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Viçosa/ Abatedouro de aves	4,44	-	-	-	-	-	Combatt <i>et al.</i> (2017)
Não informado	-	-	-	-	-	-	Januário (2012)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	148/142*	2,68	79	5,8 -6,8	Lima (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	-	-	-	-	Lopes <i>et al.</i> (2011)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	-	-	83,4	-	Lopes <i>et al.</i> (2013)
Passos/ Abatedouro de bovinos	250	-	184,8	21,48	-	6,6 5	Oliveira e Sá (2015)
	190	-	352,8	34,7	-	6,8 6	
Lavras/ Abatedouro de suínos	-	-	157,5*	11,9	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2017a; 2017b; 2017c)
Campo Belo/ Abatedouro de bovinos e suínos	45 0,1 0,5 <1,0	1,82 2,36 < 1,0 <1,0	- - - -	- - - -	- - - -	7,1 - 9,2 9,0	Pereira <i>et al.</i> (2015)

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT

Tabela 3 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias preliminares de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Município/Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO 5/ DQO	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Belo Horizonte/ Abatedouro de bovinos	-	16678	-	-	-	1696	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	655	2687	0,24	-	-	500	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Sul do Estado/ frigorífico de pescado	683	1320	0,51	-	-	591	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	904	1680	0,53	-	-	420	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	800	3000	0,26	-	-	400	Sampaio <i>et al.</i> (2014)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	386	1327	0,29	-	-	194	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

Fonte: do autor.

Tabela 3 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias preliminares de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

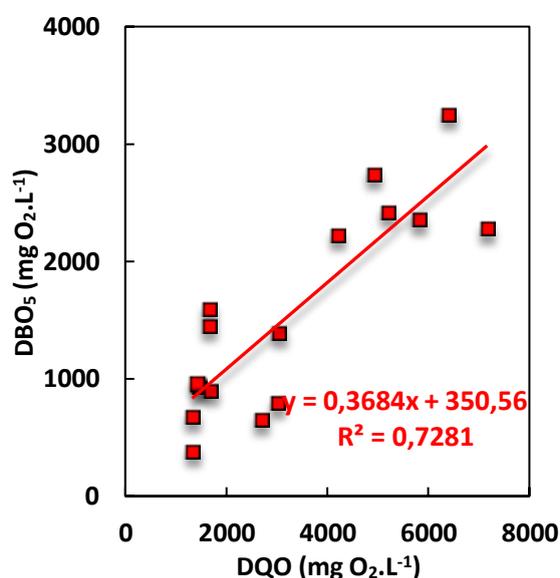
Município/Especificação	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	(Conclusão)
							Referência
Belo Horizonte/ Abatedouro de bovinos	-	-	431*	-	117	6,0 - 7,0	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	69*	-	-	6,3 - 6,8	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Sul do Estado/ frigorífico de pescado	-	-	-	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	-	-	-	-	-	6,3 - 6,8	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	-	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2014)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	-	-	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT

Para águas residuárias tratadas preliminarmente foi também avaliada a tentativa de correlacionar linearmente DQO e DBO<sub>5</sub>, conforme mostra a figura 5. Foi obtido um valor de R<sup>2</sup> um pouco abaixo de 0,8, indicando uma correlação linear moderada.

Figura 5 - Correlação linear DQO x DBO<sub>5</sub> para águas residuárias tratadas preliminarmente de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.



Fonte: do autor.

### 5.3 Caracterização de águas residuárias tratadas a nível primário

Dados de caracterização de águas residuárias após o tratamento primário também foram encontrados. Embora seja muito comum a remoção de material graxo por meio de caixas de gordura, a flotação tem sido o tratamento primário mais usado para promover a remoção de gordura residual e de outros poluentes suspensos presentes nessas águas residuárias. É possível aplicar previamente a essa etapa coagulantes para desestabilizar os colóides, os quais irão se flocular e posteriormente ser removidos também por flotação (NG *et al.*, 2022; GHUMRA *et al.*, 2021). A Tabela 4 mostra os dados de caracterização de águas residuárias após tratamento primário.

Tabela 4 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas primárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

Localização	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	349	-	-	13,4	72,7*	3,6	-	-	Assemany <i>et al.</i> (2016)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	1127,1	-	457,5	11,8	47,5*	2,7	-	6,7	Costa (2016)
	-	2728,2	-	853,3	26,3	66,6*	13,3	-	5,2	
	-	1591,8	-	680,0	29,1	70,5*	5,0	-	6,4	
	-	2021,3	-	535,0	39,9	117,6*	9,2	-	5,8	
	-	2125,0	-	632,5	20,5	40*	7,0	-	4,3	
Betim/ Abatedouro de bovinos e suínos	2618	4674	0,56	2003	-	-	-	353	-	Januário (2012)
Governador Valadares/ Abatedouro de bovinos	2933	5407	0,54	2306	-	-	-	204	-	
Belo Horizonte/ Abatedouro de bovinos	-	11143	-	746	176	236*	-	-	6,32-6,68	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	346,0	-	588,3	22,8	112,6	8,8	-	5,2	Tango <i>et al.</i> (2018)
	-	347,1	-	381,3	23,1	99,2	2,5	-	5,6	
	-	350,9	-	668,3	3,7	49,8	12,0	-	6,5	

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT

Apesar de poucos autores analisarem esse ponto de amostragem em uma ETE, foi possível verificar que parâmetros como N-NH<sub>4</sub> e SST ainda apresentam valores acima dos padrões para descarte, enquanto os valores de pH estiveram dentro da faixa permitida. Embora tenha sido pouco reportada, a concentração de O&G apresentou valores também acima do permitido. A DBO<sub>5</sub> foi muito pouco quantificada, enquanto um dado de DQO acima de 11000 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> demonstra que ainda há a necessidade de tratamentos posteriores para remover matéria orgânica. Como foram bem poucas as águas residuárias primárias caracterizadas quanto a ambos os parâmetros DQO e DBO<sub>5</sub>, não foi pertinente avaliar uma tentativa de correlação linear entre eles.

#### **5.4 Avaliação da proporção entre matéria orgânica e nutrientes para processos biológicos de tratamento.**

Embora seja necessário remover N e P de águas residuárias para evitar a eutrofização, caso sua destinação seja um corpo hídrico receptor, a presença desses nutrientes é importante para a manutenção de atividade metabólica dos microrganismos nas etapas de tratamento biológico (SANT'ANNA, 2013). Se a água residuária possuir baixas concentrações de nutrientes em relação à matéria orgânica, para que ela seja tratada biologicamente é necessária sua suplementação, conforme ocorre no tratamento de águas residuárias de indústrias têxteis (RAMOS *et al.*, 2020) e de celulose e papel (RAMOS *et al.*, 2022a). O nitrogênio é importante para síntese de aminoácidos e proteínas, enquanto o fósforo é requerido para sintetizar nucleotídeos e fosfolípidos de membrana (TORTORA *et al.*, 2016).

Analisar a proporção entre matéria orgânica e nutrientes de uma água residuária pode indicar o tipo de tratamento biológico mais adequado, aeróbio ou anaeróbio, e principalmente a necessidade ou não de sua suplementação. Segundo Sant'anna (2013), é sugerida uma proporção relativa de DBO<sub>5</sub>:N:P em torno de 100:5:1 para processos aeróbios de tratamento, enquanto para processos anaeróbios a proporção DQO:N:P deve ser em torno de 250:6,5:1. Essas proporções puderam ser calculadas para algumas amostras de água residuária bruta e tratadas preliminar e primária. Para algumas delas apenas uma das proporções foi calculada e com apenas um dos nutrientes supracitados.

Conforme mostra a Tabela 5, ao analisar as proporções DBO<sub>5</sub>:N:P e DQO:N:P

para as águas residuárias brutas e tratadas em níveis preliminar e primário foi verificado que a concentração relativa de nitrogênio está acima do ideal. Quanto ao fósforo, algumas amostras não apresentaram o mínimo sugerido para esse nutriente. Baseado nisso é possível inferir que essas águas residuárias poderiam ser suplementadas com fósforo para serem tratadas biologicamente.

Tabela 5 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para as águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continua)

Água residuária	DBO <sub>5</sub> :N:P	DQO:N:P	Referência	
Bruta	100: 0,82: 2	250: 0,58: 1,41	Dias <i>et al.</i> (2016)	
	-	250:15,2:1,4	Fia <i>et al.</i> (2015)	
	100: 12,9: 1,2	250: 16,11: 1,5	Gomes <i>et al.</i> (2013)	
	100: 11,4: 1,1	250: 15,1: 1,5		
	100: 7,5: 1,3	250: 7,4: 1,2		
	100: 21,1: 1,6	250: 13,1: 1,0		
	100: 5,77: 0,23	250: 7,35: 0,30	Lima (2014)	
	-	250: 1,93: 0,15	Melo <i>et al.</i> (2022)	
	100: 95,6: 4,2	250: 107,8: 4,7	Oliveira (2014)	
	-	250: 4,76*: nd	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)	
	100: 13,0*: nd	250: 8,65*: nd	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)	
	Preliminar	100: 15,83*: 0,29	250: 25,38*: 0,46	Lima (2014)
		100: 12,70: 1,47	250: 28: 3,25	Oliveira e Sá (2015)
		100: 22,10: 2,17	250: 53,45: 5,25	
100: 6,67*: 0,50		250: 6,77*: 0,51	Oliveira <i>et al.</i> (2017a; 2017b; 2017c)	
nd		250: 6,46*: nd	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)	
100:10,53*: nd		250: 6,41*: nd	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)	

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT; nd = não determinado.

Tabela 5 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para as águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Conclusão)

Água residuária	DBO <sub>5</sub> :N:P	DQO:N:P	Referência
Primária	-	250: 52: 2,57	Assemany <i>et al.</i> (2016)
	-	250: 10,5: 0,60	Costa (2016)
	-	250: 6,1: 1,22	
	-	250: 11,07: 0,78	
	-	250: 14,5: 1,13	
	-	250: 4,7: 0,82	
	-	250:4,77*:nd	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
	-	250: 81,4: 6,36	Tango <i>et al.</i> (2018)
	-	250: 71,4: 1,80	
	-	250: 35,5: 8,55	

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT; nd = não determinado.

### 5.5 Caracterização de águas residuárias tratadas a nível secundário

A Tabela 6 apresenta os dados de caracterização de águas residuárias secundárias de abatedouros e frigoríficos do estado de Minas Gerais. Para apenas três amostras o valor da DBO<sub>5</sub> foi abaixo do máximo permitido. Em relação à DQO, um terço das amostras esteve abaixo do limite de descarte. Ao avaliar os percentuais de remoção de DQO e DBO<sub>5</sub>, mais de 75% das amostras atenderam aos mínimos exigidos pela legislação estadual, que são 70% para remoção de DQO e 75% para DBO<sub>5</sub> (MINAS GERAIS, 2008). Ao considerar a legislação federal, a qual exige uma remoção mínima de 60% de DBO<sub>5</sub> (BRASIL, 2011), apenas uma das amostras não esteve em conformidade. É importante ressaltar que as indústrias não são obrigadas a atender a ambos os critérios de concentração máxima e remoção percentual de matéria orgânica (MINAS GERAIS, 2008), embora o último seja mais fácil de ser cumprido.

SST foram quantificados para a maioria das águas residuárias tratadas, sendo que aproximadamente 45% delas não apresentaram valores abaixo do máximo permitido para descarte. Problemas de sedimentabilidade dos flocos biológicos devem contribuir para concentração de SST acima do máximo permitido. Sólidos suspensos presentes na água residuária secundária tratada podem se depositar no

corpo hídrico receptor e contribuir para condições de anaerobiose (VON SPERLING, 2007; AFOLALU *et al.*, 2022). Para O&G e SSed, poucas fontes consultadas avaliaram esses parâmetros e praticamente todos os valores encontrados atenderam as legislações vigentes. A diminuição da razão média DBO<sub>5</sub>/DQO para 0,35 pode ser justificada pelas etapas de tratamento biológico, pois elas removem majoritariamente a fração de matéria orgânica biodegradável (VON SPERLING, 2007).

Além do baixo desempenho de remoção de SST, outro parâmetro que ao invés de ser reduzido teve sua concentração aumentada foi o N-NH<sub>4</sub>. Sousa *et al.* (2022) verificaram um aumento na concentração de N-NH<sub>4</sub> em torno de 30% em relação à água residuária bruta. Ao comparar a composição entre águas residuárias primárias e secundárias, três estudos também observaram aumentos na concentração de N-NH<sub>4</sub> (RODRIGUES *et al.* 2014a; ASSEMANY *et al.*, 2016; TANGO *et al.*, 2018). Como explicação para isso, durante a biodegradação da água residuária suas proteínas são hidrolisadas em aminoácidos e estes são degradados liberando amônia para o meio. A carência de O<sub>2</sub> impede a nitrificação da amônia, tendo como consequência o aumento da sua concentração (VON SPERLING, 2007).

No que diz respeito à presença de surfactantes, verificou-se a quantificação desses poluentes em seis amostras e apenas uma delas apresentou valor abaixo do limite de 2 mg.L<sup>-1</sup> estabelecido pela legislação estadual. No estudo de Dutra *et al.* (2013), foi relatado um valor de concentração de surfactantes até cinco vezes maior que o limite permitido.

Além do lançamento em corpos hídricos, é importante avaliar o potencial de águas residuárias tratadas na irrigação agrícola. Alguns estudos na literatura têm avaliado a fertirrigação de diferentes culturas utilizando águas residuárias tratadas de abatedouros e frigoríficos como forma de melhor destinar este recurso hídrico, o qual contém certos nutrientes de interesse agrônômico. Aspectos positivos como aumento da fertilidade do solo (ARAUJO *et al.*, 2019) e maior crescimento vegetativo têm sido verificado em estudos com grama (MENEGASSI *et al.*, 2020) e milho (ALVES *et al.*, 2021).

A resolução 503/2021 do CONAMA (BRASIL, 2021) estabelece os critérios e procedimentos para reúso de águas residuárias da agroindústria, as quais devem estar estabilizadas biologicamente para fertirrigação. Considerando os dados de pH

e O&G, as águas residuárias tratadas estiveram em conformidade. Essa mesma norma menciona que para os parâmetros de interesse agrônomo como N-NH<sub>4</sub>, boro e zinco total, cobre, ferro e manganês dissolvidos, não há valores máximos estabelecidos. Outro parâmetro importante para essa forma de destinação é a presença da bactéria *E. coli*. A água residuária tratada não deve ultrapassar  $1 \times 10^3$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> dessa bactéria para poder ser aplicada em culturas de alimentos consumidos crus e cuja parte comestível tenha contato com o solo. Para outras culturas e pastagens, a legislação estabelece o valor limite de  $1 \times 10^4$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> de *E. coli* (BRASIL, 2021). Lima (2014) reportou valores médios de CT e *E. coli* de  $1,01 \times 10^6$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> e  $8,41 \times 10^5$  NMP.100 mL<sup>-1</sup>, respectivamente, para uma água residuária tratada de abatedouro de aves. Isso implica que estas águas residuárias não são apropriadas para a irrigação. Por outro lado, Sousa *et al.* (2022) verificaram em água residuária tratada de frigorífico de pescado uma concentração de  $4,81 \times 10^1$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> para CT, um valor permitido para a irrigação de alimentos consumidos crus ao considerar como o máximo permitido para *E. coli*.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continua)

Localização/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	99,4	-	-	-	46,1	0,7	Assemany <i>et al.</i> (2016)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	182,1	-	39	-	38,7	0,7	Costa (2016)
	-	175,8	-	35,5	-	8,9	0,9	
	-	123,7	-	37,5	-	26,8	0,6	
	-	157,2	-	121,7	-	23	1,6	
	-	106,2	-	27,5	-	11,7	1,3	
Montes Claros/ Abatedouro de bovinos	357,4	558,0	0,64	108,0	0,1	2,4	1,6	Dias <i>et al.</i> (2016)
Não informada	151	348	0,43	53	0,26	-	-	Dutra <i>et al</i> (2013)
	320	587	0,55	143	0,58	-	-	
	884	1526	0,58	397	0,46	-	-	

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactante s(mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção de DBO <sub>5</sub> %	Remoção de DQO %	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	40,4	-	-	-	-	-	Assemany <i>et al.</i> (2016)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	6,8	-	-	-	-	7,9	Costa (2016)
	1,4	-	-	-	-	7	
	15,5	-	-	-	-	7,4	
	11,68	-	-	-	-	7,7	
	6,1	-	-	-	,-	7,2	
Montes Claros/ Abatedouro de bovinos	138,5	-	88,0	94,4	-	6,8	Dias <i>et al.</i> (2016)
Não informada	-	5,6	98*	98	8,62	-	Dutra <i>et al.</i> (2013)
	-	1,8	89*	87	9,96	-	
	-	10,5	72*	73	9,17	-	

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Betim/ Abatedouro de bovinos e suínos	69	259	0,26	89	-	-	-	Januário (2012)
Governador Valadares/ Abatedouro de bovinos	38	195	0,19	62	-	-	-	
Não informado/ Abatedouro de bovinos	101	348	0,29	122	-	-	-	
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	94	301	0,31	126	-	-	-	Lima (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	741	-	95	-	-	-	Lopes <i>et al.</i> (2011)
Região Central/ Frigorífico de pescados	-	3139	-	-	-	-	-	Melo <i>et al.</i> (2022)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	169	371	0,46	102	-	-	169	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção de DBO <sub>5</sub> %	Remoção de DQO %	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Betim/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	-	-	-	21	-	Januário (2012)
Governador Valadares/ Abatedouro de bovinos	-	-	-	-	14	-	
Não informado/ Abatedouro de bovinos	-	-	-	-	15	-	
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	90	-	93,7	89,6	-	-	Lima (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	-	81,9	-	-	Lopes <i>et al.</i> (2011)
Região Central/ Frigorífico de pescados	-	-	-	67,5	-	5,5-6,5	Melo <i>et al.</i> (2022)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	73	74	-	-	Sampaio <i>et al.</i> (2022)

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Passos/ Abatedouro de bovinos	118 73,2	404 427	0,23 0,17	- -	1,0 1,0	155,4 149,8	19,04 19,39	Oliveira e Sá (2015)
Passos/ Abatedouro de bovinos e suínos	95,6	415,5	0,23	-	1,0	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Inconfidentes/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	60,2	-	-	<0,1	-	-	Paiva <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte/ Frigorífico de bovinos	-	660	-	188	-	219*	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	42	237	0,18	59	-	46*	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescados	169	371	0,45	102	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	106	290	0,36	56	-	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)

Fonte: do autor.

Legenda: \* = NKT.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção de DBO <sub>5</sub> %	Remoção de DQO %	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Passos/ Abatedouro de bovinos	-	-	91,89	75,51	-	7,7-8	Oliveira e Sá (2015)
Passos/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	-	95,41	74,12	-	7,8-6	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Inconfidentes/ Abatedouro de bovinos e suínos	20,77	-	93,7	75	-	-	Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte/ Frigorífico de bovinos	190	-	75,94	94,94	-	5,25	Paiva <i>et al.</i> (2016)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	-	96,4	-	6,6-7,2	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a)
Sul do Estado/ Frigorífico de pescados	-	-	95,5**	93,3**	-	6,8-7,8	Rodrigues <i>et al.</i> (2014b)
Belo Horizonte/ Abatedouro de aves	-	-	71**	60**	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a)
			55,8**	63,3**	-	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)

Fonte: do autor.

Legenda: \*\* = Cálculo considerando efluentes preliminares.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	300	1100	0,27	190	-	-	-	Sampaio <i>et al</i> (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	192	669	0,28	300	-	-	-	Santos <i>et al</i> (2015)
Araguari/ Abatedouro de animais de médio e grande porte	-	-	-	-	-	-	-	Minas Gerais (2017a)
Uberaba/ Abatedouro de bovinos e suínos	44	84,53	0,52	56	0,1	-	-	Minas Gerais (2019b)
Itaguara/ Abatedouro de animais de grande porte	-	-	-	273	1,2	-	-	Minas Gerais (2020c)
Conceição das Alagoas/ Abatedouro de bovinos	-	-	-	278	-	-	-	Minas Gerais (2021h)
São Gotardo/ Abatedouro de bovinos e suínos	252,7	607,4	0,42	70	0,5	-	-	Minas Gerais (2021q)

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactante s(mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção de DBO <sub>5</sub> %	Remoção de DQO %	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Sul do Estado/ Frigorífico de pescado	-	-	62,5**	78,8**	-	-	Sampaio <i>et al</i> (2014)
Sete Lagoas/ Abatedouro de aves	-	-	79,59**	46,46**	-	-	Santos <i>et al</i> (2015)
Araguari/ Abatedouro de animais de médio e grande porte	-	-	82 - 98	84 - 98	-	-	Minas Gerais (2017a)
Uberaba/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	-	-	-	5	7,7	Minas Gerais (2019b)
Itaguara/ Abatedouro de animais de grande porte	-	-	-	-	-	-	Minas Gerais (2020c)
Conceição das Alagoas/ Abatedouro de bovinos	-	-	>86	>86	-	-	Minas Gerais (2021h)
São Gotardo/ Abatedouro de bovinos e suínos	-	0,26	97,7	97,7	18,4	-	Minas Gerais (2021q)

Fonte: do autor.

Legenda: \*\* = Cálculo considerando efluentes preliminares.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Continuação)

Localização/ Especificação	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> / DQO	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	NT (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Estiva/ Abatedouro de suínos	-	-	-	-	-	-	-	Minas Gerais (2021j)
	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	
Uberlândia/ Abatedouro de animais de médio porte	125,63	411,87	0,31	-	< 0,10	-	-	Minas Gerais (2022a)
Araxá/ Abatedouro de animais de médio porte	-	-	-	-	-	-	-	Minas Gerais (2022c)
Zona Rural Sul de Minas/ Frigorífico de Pescado	-	-	-	-	-	33,6	10,6	Sousa <i>et al</i> (2022)
Matozinhos/ Abatedouro de bovinos	-	587	-	143	0,57	-	-	Spelta <i>et al</i> (2013)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	-	99,3	-	67,0	-	70,1	1,7	Tango <i>et al.</i> (2018)
	-	99,4	-	77,5	-	22	1,8	
	-	88,0	-	44,3	-	17,3	1,1	

Fonte: do autor.

Tabela 6 - Parâmetros físicos e químicos de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

(Conclusão)

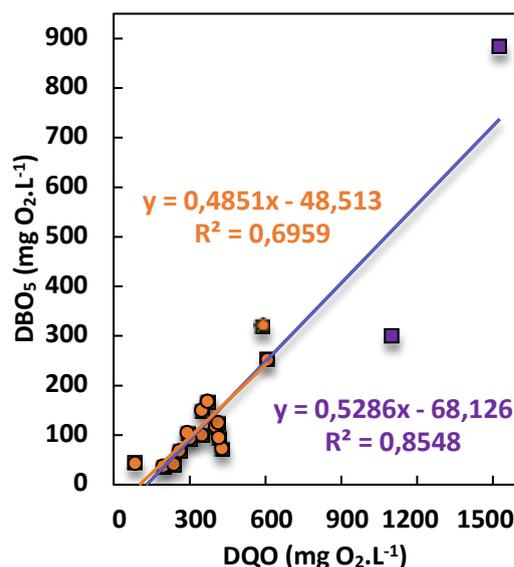
Localização/ Especificação	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	Remoção de DBO <sub>5</sub> %	Remoção de DQO %	O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Referência
Estiva/ Abatedouro de suínos	-	4,5; 7,3	88(2018)#	93,8(2018)#	-	-	Minas Gerais (2021j)
	-		90,9(2019)#	92,5(2019)#	-	-	
	-		66,43(2020)#	62,25(2020)#	-	-	
Uberlândia/ Abatedouro de animais de médio porte	-		-	-	-	7,4	Minas Gerais (2022a)
Araxá/ Abatedouro de animais de médio porte	-		96	98	-	-	Minas Gerais (2022c)
Zona Rural Sul de Minas/ Frigorífico de Pescado	24,6		-	-	-	-	Sousa <i>et al</i> (2022)
Matozinhos/ Abatedouro de bovinos	-		-	98,07**	-	-	Spelta <i>et al</i> (2013)
Viçosa/ Indústria de processamento de carne	62,5		-	-	-	7,6	Tango <i>et al.</i> (2018)
	18,3		-	-	-	7,6	
	13,5		-	-	-	7,4	

Fonte: do autor.

Legenda: \*\* = Cálculo considerando efluentes preliminares. .# = Média de remoção anual

A correlação linear entre DQO e DBO<sub>5</sub> para águas residuárias tratadas secundárias também foi avaliada, conforme mostra a Figura 6. Ao excluir duas das amostras mais concentradas, o coeficiente de determinação diminuiu para um valor abaixo de 0,7, indicando que tais amostras influenciaram a obtenção de uma correlação forte, conforme foi observado para águas residuárias brutas. Desta forma, também não seria indicado estimar dados de DBO<sub>5</sub> a partir da DQO para águas residuárias tratadas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

Figura 6 – Correlação linear DQO x DBO<sub>5</sub> para águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais. Linha roxa: correlação com todos os dados; linha laranja: correlação considerando a exclusão das amostras mais concentradas.



Fonte: do autor.

## 5.6 Aspectos gerais de águas residuárias brutas e tratadas

Na Tabela 7 estão compilados os dados dos parâmetros de caracterização das águas residuárias brutas com as correspondentes faixas, média e o desvio padrão. Para muitos dos parâmetros de caracterização o desvio padrão foi maior que a média, inferindo a existência de uma dispersão significativa dos valores reportados. A DQO possui o maior número de dados encontrados nas fontes consultadas, pois este é um indicador de concentração de matéria orgânica mais rápido e prático de ser analisado em comparação à DBO<sub>5</sub>. O pH reportado nos estudos apresentou valores próximos de 7. Foi observada uma significativa similaridade das características físicas e químicas com as características de águas

residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos do Canadá, conforme reportado por Bustillo-Lecompte., Mehrvar (2016b). Em seu artigo de revisão, estes autores verificaram uma faixa de 200 a 8231 mgO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> para DBO<sub>5</sub>, 25,7 a 75,9 mg.L<sup>-1</sup> para fósforo total, 0,39 a 9938 mg.L<sup>-1</sup> para SST e o pH variou entre 6,0 e 6,9.

Tabela 7 - Faixa e média de parâmetros para os dados de águas residuárias brutas de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

<b>Parâmetros</b>	<b>Nº de dados usados</b>	<b>Faixa</b>	<b>Média (Desvio padrão)</b>
pH	11	5,5 - 8,0	-
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	28	351- 16000	2745 (4013)
DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	33	1088 - 30433	7429 (9409)
DBO <sub>5</sub> /DQO	27	0,10 - 0,67	0,43 (0,14)
NT (mg.L <sup>-1</sup> )	10	96 - 517	258 (208)
N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	8	16,5 - 75,0	43,6 (32,9)
SSed (mg.L <sup>-1</sup> )	7	5,5 - 222,7	86,1 (76,3)
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	6	1317,0 - 3577,0	2460,5 (837,9)
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	15	304,0 - 5052,0	1449,9 (1642,6)
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	10	3,5 - 60,0	21,5 (17,5)
O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	5	61,5 - 1257,6	673,5 (681,2)
Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	2	0,5 - 2,4	1,4 (1,3)

Fonte: do autor.

A Tabela 8 compila os dados de caracterização para as águas residuárias tratadas secundárias. Todos os valores encontrados para SSed atenderam aos padrões de descarte. Para SST foi observada uma média acima do permitido. A DQO foi o parâmetro mais reportado e sua média foi mais baixa quando comparada à água residuária bruta, conforme o esperado. A grande variação dos parâmetros reportados pode ser influenciada por uma série de variáveis operacionais, tais como a frequência de limpeza dos maquinários, o tipo de animal abatido e a quantidade de água utilizada no processo (NG *et al.*, 2022).

Os valores de pH foram próximos de 7. Contudo, a caracterização de águas residuárias tratadas indica a necessidade de melhorias no tratamento, principalmente quanto aos parâmetros SST e N-NH<sub>4</sub>. Embora a razão média

DBO<sub>5</sub>/DQO seja um pouco abaixo de 0,4, a adoção de outros tratamentos biológicos posteriormente, como o uso já adotado de lagoas de polimento em algumas ETEs (MINAS GERAIS 2019a; 2019d; 2022a), ou o aumento do tempo de detenção hidráulica nos processos biológicos já existentes, seriam opções a serem avaliadas.

Tabela 8 - Faixa e média de parâmetros para os dados de águas residuárias tratadas secundárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

<b>Parâmetros</b>	<b>Nº de dados usados</b>	<b>Faixa</b>	<b>Média (Desvio padrão)</b>
pH	17	5,2 - 7,9	-
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	20	42 - 884	186,9 (189,4)
DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	34	60,2 - 3139	465,5 (564,9)
Remoção de DBO <sub>5</sub> %	22	55,8 - 98,0	84,5 (12,8)
Remoção de DQO %	27	46,5 - 98,1	83,2 (14,5)
DBO <sub>5</sub> /DQO	21	0,17 - 0,64	0,35 (0,14)
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	28	27,5 - 397,0	116,9 (91,7)
SSed (mg.L <sup>-1</sup> )	13	<0,1 - 1,2	0,5 (0,4)
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	13	0,6 - 19,4	4,7 (7,0)
NT (mg.L <sup>-1</sup> )	15	8,9 - 219,0	58,1 (64,4)
O&G (mg.L <sup>-1</sup> )	8	5,0 - 21,0	12,6 (5,4)
N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	14	1,4 - 190	45,7 (56,6)
Surfactantes (mg.L <sup>-1</sup> )	6	0,3 - 10,5	5,0 (3,7)

Fonte: do autor.

Embora os estudos aqui reportados tenham sido avaliados quanto aos padrões de descarte da deliberação conjunta COPAM/CERH 01/2008, até então vigente na ocasião em que as águas residuárias foram geradas e caracterizadas, recentemente uma nova deliberação do estado de Minas Gerais foi publicada, COPAM/CERH 8/2022, a qual substitui a anterior (MINAS GERAIS, 2022). Os principais parâmetros que tiveram alteração nessa nova legislação foram o pH, DQO e DBO<sub>5</sub>. Com relação ao pH, a nova faixa permitida para lançamento é entre 5 e 9, similar à da legislação federal (BRASIL, 2011). As remoções percentuais mínimas de DQO e DBO<sub>5</sub> subiram para 85% e 80%, respectivamente. Considerando isto, mais de 60% das águas residuárias tratadas reportadas estariam de acordo com a nova

deliberação estadual.

### **5.7 Tratamentos convencionalmente adotados para remediar águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.**

O conhecimento da composição de águas residuárias provenientes de abatedouros e frigoríficos permite selecionar os processos mais adequados para tratá-los (NG *et al.*, 2022). Comumente, diferentes processos são empregados em sequência com o intuito de remover diferentes poluentes e atender aos padrões de descarte de águas residuárias (BUSTILLO-LECOMPTE *et al.*, 2016a). Na Tabela 9 estão compilados os diferentes processos adotados por ETEs de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

Foram verificadas sequências distintas de tratamento para as águas residuárias das linhas verde e vermelha, embora elas sejam frequentemente misturadas na etapa de tratamento biológico. Em relação aos tratamentos preliminares, mais de 70% das ETEs utilizam peneiras para remover sólidos grosseiros. O uso de esterqueiras para a biodigestão destes sólidos foi verificada em algumas ETEs. Foi comum verificar em grande parte das ETEs a presença de um tanque de equalização, o qual tem como função minimizar choques de carga nos tratamentos primários e principalmente biológicos (AFOLALU *et al.*, 2022). Em algumas ETEs apenas um tratamento preliminar da água residuária é realizado para posterior lançamento na rede coletora de esgoto para o seu tratamento na ETE municipal (MINAS GERAIS, 2019c; 2021n; 2022d). Indústrias do estado de Minas Gerais podem descartar suas águas residuárias desta forma desde que atendam aos critérios estabelecidos do Programa de Recebimento de Águas Residuárias Não Domésticas (PRECEND) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2018).

Foi verificado para uma ETE o tratamento primário de coagulação/floculação seguido de sedimentação dos flocos, sendo que essa faz uso de sulfato de alumínio como agente coagulante (MINAS GERAIS, 2019c). Embora boa parte do material graxo seja removida por peneiras e caixas de gordura, foi verificado em aproximadamente 60% das ETEs o uso de tanques de flotação por ar dissolvido como tratamento primário. Nesse processo, O&G e sólidos leves são flotados para a superfície do tanque criando uma manta de lodo que é removida por raspadores. Todavia, esse

tratamento possui baixa capacidade de remoção de nutrientes e custo operacional elevado devido a aeração (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHVAR, 2015; KYZAS e MATIS, 2018). Em duas ETEs foi constatado o uso prévio de coagulantes com o intuito de aumentar a remoção de poluentes na etapa de flotação (DIAS *et al.*, 2016; MINAS GERAIS, 2021j). De forma menos comum, em uma das ETEs a flotação tem sido utilizada como tratamento terciário (MINAS GERAIS, 2021i).

Em quase todas as ETEs há no mínimo um processo biológico, seja anaeróbio, aeróbio, facultativo, ou ainda combinados em série. A utilização de processos anaeróbios como único tratamento ou como primeira etapa biológica foi verificado em aproximadamente 90% das ETEs. Como tratamento mais comum, foi verificado o uso de lagoas anaeróbias seguidas de lagoa aerada e/ou lagoas facultativas. As lagoas anaeróbias são responsáveis pela maior remoção da matéria orgânica convertendo-a parcialmente em biogás que é emitido na atmosfera (NG *et al.*, 2022). A combinação de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa é comumente conhecida por sistema australiano (VON SPERLING, 2007). É importante destacar que a aplicação de processos anaeróbios como primeira etapa do tratamento secundário é preferível, uma vez que a DQO desse tipo de água residuária é relativamente alta, conforme já discutido anteriormente (seção 3.2). Processos anaeróbios têm como vantagens a baixa produção de lodo, baixos requisito de energia e custo em comparação a processos aeróbios. Todavia, os primeiros possuem limitações como baixa remoção de nutrientes e longo tempo de detenção hidráulica (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHVAR, 2015; ZIELINSKI *et al.*, 2023). Posteriormente à lagoa anaeróbia, as lagoas aeróbias ou facultativas são importantes por remover matéria orgânica remanescente e possivelmente oxidar o N-NH<sub>4</sub>. Em algumas ETEs foi reportado o uso de filtros anaeróbios, os quais devem também complementar a remoção de matéria orgânica por processos anaeróbios prévios (UASB, lagoa de estabilização), mas que também são limitados em remover N-NH<sub>4</sub> (ZIELINSKI *et al.*, 2023). Embora os processos biológicos mencionados mantenham microrganismos no tratamento sem a necessidade de sua reposição, em duas ETEs foi reportada a inoculação de microrganismos exógenos para aumentar a biodegradação dos poluentes (MINAS GERAIS, 2017b; 2021i).

As ETEs que fazem uso de reatores anaeróbios (UASB ou filtro anaeróbio) necessitam queimar o biogás coletado, pois o mesmo contém CH<sub>4</sub> que é um gás de

efeito estufa mais prejudicial que o CO<sub>2</sub>. O biogás não pode ser recuperado das lagoas anaeróbias, que configura numa importante desvantagem desse tipo de tratamento (LORY *et al.*, 2010). No entanto, lagoas anaeróbias modificadas, por exemplo, com cobertura (HEUBECK., CRAGGS, 2010) e de alta taxa (PEÑA *et al.*, 2015), têm atualmente sido investigadas para melhoria da performance do tratamento e da recuperação do CH<sub>4</sub> gerado. Para apenas uma ETE foi relatada a captação e queima de biogás vindo de três biodigestores e com o intuito de gerar energia (MINAS GERAIS, 2021d). Conforme vários estudos recentemente têm relatado (VILVERT *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020 MARZUKI *et al.*, 2021), o tratamento anaeróbio de efluentes de abatedouros e frigoríficos tem um potencial significativo de gerar energia.

Os efluentes sanitários gerados em abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais são comumente pré-tratados em uma fossa séptica e frequentemente misturados ao efluente da linha vermelha no tanque de equalização (MINAS GERAIS, 2017b; 2020f; 2021d) ou diretamente na etapa de tratamento biológico (MINAS GERAIS, 2020d; 2020e). As águas residuárias provenientes da lavagem de veículos passam por uma caixa separadora água/óleo e também são misturadas ao efluente da linha vermelha de forma similar ao efluente sanitário.

Uma outra forma convencional de destinar as águas residuárias tratadas tem sido a sua disposição em áreas de pastagens, muitas vezes usadas para a própria alimentação dos animais que serão abatidos (MINAS GERAIS, 2019a; 2021d; 2021e), ou ainda dispersadas em lavouras para a produção de alimentos (MINAS GERAIS, 2019a), especificamente em lavouras de café (MINAS GERAIS, 2020k) e cana-de-açúcar (MINAS GERAIS, 2019f). Embora a legislação que permita esse tipo de disposição tenha sido implementada recentemente (BRASIL 2021), tal prática já vinha sendo adotada por muitos abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continua)

Localização	Etapas do tratamento	Disposição	Referências
Betim	Linha vermelha: Peneiramento, Flotação, Mistura com efluentes da linha verde e sanitário Lagoa anaeróbia, Lagoa aerada de mistura completa e lagoa de decantação.	Riacho das Areias	Januário (2012)
Governador Valadares	Linha verde: Peneiramento; Mistura com efluente da linha vermelha e efluente sanitário no tanque de equalização; Linha vermelha: Peneiramento, Flotação por ar dissolvido, Tanque de equalização, Lagoa anaeróbia, Lagoa aerada de mistura completa e lagoa de decantação.	Córrego do Cardoso	
Não informado	Efluente de graxaria: Peneiramento, Caixa de gordura, Mistura com efluente da linha vermelha antes do tratamento biológico; Linha verde: Peneiramento, Mistura com efluente da linha vermelha antes de tratamento biológico; Linha vermelha: Peneiramento, Caixa de gordura, Lagoa anaeróbia, Lagoa aerada de mistura completa e lagoa de decantação.	Rio Mucuri	
Sete Lagoas	Peneiramento, caixa de gordura, tanque de equalização e acidificação, reator UASB e filtro anaeróbio.	Não informado	Lima (2014); Lopes <i>et al.</i> 2011; Rodrigues <i>et al.</i> (2014b); Santos <i>et al.</i> (2015)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Disposição	Referências
Passos	Separação de sólidos grosseiros, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa aerada.	Ribeirão Bocaina	Oliveira e Sá (2015); Oliveira <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte	Peneiramento, Mistura de efluentes das linhas verde e vermelha, caixa de gordura, decantador, reator UASB.	Não informado	Rodrigues <i>et al.</i> (2014a; 2015)
Montes Claros	2 Tanques de equalização, Flotação por ar dissolvido, reator UASB, biofiltro aerado, decantador, leito de secagem*, decantador centrífugo*.	Não informado	Dias <i>et al.</i> (2016)
Belo Horizonte	Peneiramento, caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB, filtro anaeróbio.	Não informado	Rodrigues <i>et al.</i> (2016b)
Sul do Estado	Peneiramento, caixa de gordura, tanque de equalização, reator anaeróbio compartimentado, filtro anaeróbio.	Reservatório de Furnas	Rodrigues <i>et al.</i> (2016a); Sampaio <i>et al.</i> (2014); Sampaio <i>et al.</i> (2022); Sousa <i>et al.</i> (2022)
Alfenas	Gradeamento, caixa de gordura, lagoas de tratamento biológico.	Córrego do Pântano	Minas Gerais (2017b)
Ibirité	Peneiramento, tanque de equalização, flotação por ar dissolvido, Lodos ativados.	Ribeirão Ibirité	Minas Gerais (2017c)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Disposição	Referências
Baependi	Gradeamento, tanque de equalização, flotação, reator biológico anaeróbio, leito de secagem*.	Córrego Palmeiras	Minas Gerais (2017d)
Divinópolis	Peneiramento, caixa de gordura, lagoa anaeróbia, lagoa aerada, lagoa de decantação.	Rede pública de esgoto	Minas Gerais (2017e)
Itajubá	Lagoa anaeróbia, lagoa aerada e lagoa de decantação, leito de secagem*.	Rio Sapucaí	Minas Gerais (2018a)
Boa Esperança	Peneiramento, Lagoa anaeróbia, Lagoa de estabilização, lagoa de decantação.	Rede pública de esgoto	Minas Gerais (2018b)
Uberlândia	Linha verde: Sedimentação, Mistura com a linha vermelha no tanque de equalização. Linha vermelha: Peneira estática, decantação, equalização, reator biológico, filtro, 3 lagoas de estabilização em série.	Fertirrigação de pastagem e culturas agrícolas	Minas Gerais (2019a); Prado <i>et al.</i> (2019)
Uberlândia	Linha verde: Gradeamento, peneiramento, tanque de equalização, flotação, reator anaeróbio, biofiltro, lagoa aerada, lagoa facultativa, lagoa de polimento. Linha vermelha: Gradeamento, caixa de gordura, peneiramento, tanque de equalização, flotação, reator anaeróbio, biofiltro, lagoa aerada, lagoa facultativa, lagoa de polimento.	Fertirrigação e lavagem de currais	Prado <i>et al.</i> (2019)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação).

Localização	Etapas do tratamento	Disposição	Referências
Uberlândia	Gradeamento, peneiramento, tanque de equalização, flotação, sistema de lodo ativado.	Rio Uberabinha	Prado <i>et al.</i> (2019)
Uberaba	Linha verde: Peneiramento, decantação, Mistura com Linha vermelha na primeira lagoa. Linha vermelha: Peneiramento, caixa de gordura, lagoa anaeróbia, 2 lagoas facultativas em série.	Córrego Conquistinha	Minas Gerais (2019b)
Pará de Minas	Gradeamento, peneiramento, tanque de equalização, Coagulação/Floculação/Sedimentação, Filtração.	Rede pública de esgoto	Minas Gerais (2019c)
Aimorés	Peneiramento, filtro anaeróbio, Lagoa aerada facultativa e lagoa de polimento.	Rio Manhuaçu	Minas Gerais (2019d)
Poço Fundo	Linha verde: peneiramento, filtração, Mistura com linha vermelha no floto-decantador. Linha vermelha: peneiramento, floto-decantador, 12 reatores UASB em paralelo, lagoa anaeróbia e 2 lagoas facultativas.	Córrego Grotão	Minas Gerais (2019e)
Jaguaraçu	Tanque de equalização, peneiramento, 2 floto-decantadores, lodos ativados de aeração prolongada.	Rio Piracicaba	Minas Gerais (2020a)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Disposição	Referências
Governador Valadares	Gradeamento, caixa de gordura, decantador, filtro anaeróbio, reator UASB, filtração.	Rede pública de Esgoto	Minas Gerais (2020b)
Governador Valadares	Gradeamento, peneiramento, tanque de equalização, lagoa aeróbia, lagoa anaeróbia, lagoa de decantação, leito de secagem*.	Córrego Cardoso	Minas Gerais (2020e)
Itaguara	Peneiramento, lagoa aerada, lagoa facultativa.	Ribeirão dos Dias	Minas Gerais (2020c)
Nanuque	Peneiramento, lagoa anaeróbia, lagoa aeróbia e lagoa de sedimentação.	Rio Mucuri	Minas Gerais (2020d)
Piranga	Peneiramento, tanque de equalização, Flotação, Lagoa aerada facultativa, Lagoa de decantação, filtração.	Rio Piranga	Minas Gerais (2020f)
Sabará	Peneiramento, tanque de equalização, flotação por ar dissolvido, lagoa anaeróbia, lagoa aerada, lagoa de decantação	Rio das Velhas	Minas Gerais (2020h)
Uberlândia	Gradeamento, Tanque de equalização, Coagulação/floculação/flotação, Centrifugação*, Lodos ativados.	Rio Uberabinha	Minas Gerais (2020g)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Sete Lagoas	<p>Linha Verde: Peneira estática, Mistura com Linha vermelha no tratamento biológico.</p> <p>Linha vermelha: caixa de gordura, peneiramento, lagoa anaeróbia, lagoa aeróbia, lagoa de decantação.</p>	Rede pública de esgoto	Minas Gerais (2021a)
Caratinga	Flotação por ar dissolvido, reator anaeróbio, sedimentação, filtração.	Fertirrigação	Minas Gerais (2021b)
Nova Serrana	Peneiramento, Tanque de equalização, Flotação, Lagoa anaeróbia, Lagoa aerada, Lagoa de decantação, leito de secagem*.	Ribeirão da Cachoeira	MINAS GERAIS (2021c)
Uberlândia	Tanque de equalização, peneiramento, flotação, lagoas de estabilização.	Fertirrigação	Minas Gerais (2021e)
Coronel Fabriciano	Peneiramento, tanque de equalização, flotação por ar dissolvido, leito de secagem*, filtro biológico.	Córrego Tambú	Minas Gerais (2021f)
Glaucilândia	Peneiramento, tanque de equalização, reator UASB, lodos ativados, lagoa de estabilização.	Fertirrigação	Minas Gerais (2021g)
Conceição das Alagoas	Tanque de equalização, 2 tanques anaeróbios.	Ribeirão Conquistinha	Minas Gerais (2021h)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Divinópolis	Peneiramento, caixa de gordura, lagoa anaeróbia, lagoa aeróbia, lagoa de decantação.	Córrego Morro Grande	Minas Gerais (2021i)
Estiva	Caixa de gordura, peneiramento, tanque de equalização, coagulação, flotação, dois filtros biológicos anaeróbios em série, filtro de areia, filtro de quartzo.	Ribeirão do Pântano	Minas Gerais (2021j)
Formiga	Tanque de equalização, peneiramento, sedimentação, Lagoa aerada, Sedimentação, lagoa facultativa.	Córrego Quilombo	Minas Gerais (2021k)
Janaúba	Peneiramento, decantação, lagoa anaeróbia, flotação.	Rede Pública de Esgoto	Minas Gerais (2021l)
Ponte Nova	Peneiramento, tanque de equalização, flotação, 2 lagoas facultativas.	Ribeirão Oratórios	Minas Gerais (2021m)
Prata	Peneiramento	Rede Pública de Esgoto	Minas Gerais (2021n)
Lagoa da Prata	Peneiramento, caixa de gordura, lagoa anaeróbia, lagoa aerada de mistura completa, lagoa de decantação.	Córrego Retiro de Baixo	Minas Gerais (2021o)
Viçosa	Peneiramento, Lagoa anaeróbia, lagoa aerada.	Não informado	Minas Gerais (2021p)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Continuação)			
Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
São Gotardo	Peneiramento, Tratamento primário, lagoa anaeróbia, lagoa aerada, decantação.	Córrego do Retiro	Minas Gerais (2021q)
Uberlândia	Gradeamento, Caixa de gordura, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa, lagoa de polimento.	Fertirrigação	Minas Gerais (2022a)
Urucânia	Peneiramento, tanque de equalização, coagulação/floculação/flotação, lagoa de maturação.	ETE de uma granja para posterior reuso do efluente tratado em higienização e fertirrigação.	Minas Gerais (2022b)
Araxá	Linha verde: peneiramento. Linha vermelha: peneiramento, decantador, Mistura com linha verde, decantação, tanque de equalização, lagoa anaeróbia, lagoa aerada, lagoa de decantação, filtro biológico.	Córrego do Retiro	Minas Gerais (2022c)

Fonte: do autor.

Tabela 9 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de abatedouros e frigoríficos para remediar seus efluentes.

(Conclusão)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Ituiutaba	Peneiramento.	Rede Pública de Esgoto	Minas Gerais (2022d)
Capela Nova	Gradeamento, desarenador, peneiramento, tanque de equalização, lagoa anaeróbia, lagoa facultativa.	Fertirrigação	Minas Gerais (2020k)
Viçosa	Peneiramento, coagulação/floculação/flotação, lodos ativados, leito de secagem*	Rede Pública de Esgoto	Tango (2015)

Fonte: do autor.

Legenda: \* = tratamento específico para o lodo biológico.

## 5.8 Tratamentos convencionais e gestão de resíduos sólidos

Os resíduos sólidos gerados por abatedouros e frigoríficos também devem ser tratados, pois além de afetar a qualidade das águas e do ar, eles constituem num foco de patógenos capazes de infectar humanos e animais. Ao considerar o conceito de economia circular, os tratamentos de resíduos sólidos devem permitir a sua conversão em produtos de valor agregado e energia (MOZHIARASI., NATARAJAN, 2022), mas também reduzir ou eliminar seu potencial poluidor. Nos abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais esses resíduos possuem diversas destinações dependendo de sua composição. Uma parcela deles é comumente encaminhada para as graxarias para processamento e geração de sub-produtos (MINAS GERAIS, 2017a; 2017c; 2018a; 2019a; 2019c; 2019d; 2020d; 2020e; 2021e). A partir dos resíduos provenientes de ossos e do sangue, é possível fabricar uma farinha que pode ser utilizada como componente de ração animal (MINAS GERAIS, 2019a; 2019b). O sebo industrial pode ser utilizado nos setores farmacêuticos e de cosméticos, como na fabricação de sabões e graxas (PACHECO., YAMANAKA, 2006; PRADO *et al.*, 2019). Em relação aos sub-produtos gerados a partir dos resíduos do processamento de peixes, farinha e óleo de peixe são os mais comuns e podem ser utilizados para alimentação animal e humana (BEM LUIZ *et al.*, 2020). Além disso, resíduos do pescado possuem substâncias de elevado valor econômico, como enzimas, pigmentos, colágeno, peptídeos e ácidos graxos poli-insaturados (NAKKARIKE *et al.*, 2010).

Por meio de compostagem, são comumente tratados diversos resíduos como parte das vísceras não comestíveis, carcaças e vísceras condenadas, inclusive os resíduos removidos no gradeamento, do peneiramento e da caixa de gordura, o conteúdo ruminal e o lodo primário (MINAS GERAIS, 2019a; 2021b). Um abatedouro de Minas Gerais utiliza o composto como fertilizante para enriquecer o solo destinado para pastagens (MINAS GERAIS, 2019a). O estudo de Asses *et al.* (2019) detalhou os resultados da aplicação desse composto derivado de um abatedouro de aves na cultura do milho. Estes autores observaram um expressivo aumento no crescimento, no desenvolvimento das folhas e no acúmulo geral de biomassa.

É possível também produzir biogás e energia a partir da digestão

anaeróbia dos resíduos sólidos. Em termos de sólidos presentes nesse estabelecimento e suas composições, o esterco se destaca como a fonte de maior potencial de geração de biogás, seguido pelo conteúdo ruminal e pelo sangue (MOFIJUR *et al.*, 2021). Há também o potencial de gerar biogás a partir da digestão anaeróbia do lodo acumulado nos processos biológicos das ETEs (XIA *et al.*, 2012; PARK *et al.*, 2017).

### **5.9 Tecnologias alternativas para remediar águas residuárias de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.**

As águas residuárias de abatedouros e/ou frigoríficos podem conter poluentes que não são removidos com eficiência por processos convencionais, conforme verificado aqui, principalmente ao considerar os parâmetros SST e N-NH<sub>4</sub>. Isso tem motivado diversos estudos que avaliarão tecnologias alternativas para remover estes e outros poluentes do efluente, conforme consta em revisões publicadas recentemente (BUSTILLO-LECOMPTE., MEHRVAR, 2016a; HILARES *et al.*, 2021). Além de águas residuárias brutas, tecnologias alternativas de tratamento podem também ser usadas para complementar o tratamento de água residuária convencionalmente tratada nas indústrias para atender aos padrões de descarte. Como algumas das fontes consultadas neste trabalho avaliaram tecnologias de tratamento em escala de bancada, os dados de remoção dos principais parâmetros de caracterização de água residuária tratada estão mostrados na Tabela 10.

#### **5.9.1 Coagulantes alternativos**

Apesar de a coagulação/floculação com sulfato de alumínio seguida de flotação ser comumente aplicada no tratamento de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos (TANGO *et al.*, 2018; MINAS GERAIS, 2022b), Melo *et al.* (2022) avaliaram o efeito de quitosana ao tratar uma água residuária bruta do processamento de pescado. Esse coagulante natural é obtido por meio da desacetilação da quitina, a qual é extraída do exoesqueleto de crustáceos (KANMANI *et al.*, 2017). Foi verificado nas condições ótimas de tratamento (pH 5,5 e concentração de 0,5 g.L<sup>-1</sup> de quitosana) uma remoção de 68% de turbidez e 67,6% da DQO. Entretanto, essa remoção de DQO está abaixo do valor mínimo de remoção exigido para descarte. Além disso, a concentração de

amônia após os tratamentos variou de 49 a 75 mg.L<sup>-1</sup>, acima do máximo permitido para descarte.

Considerando o processo de eletrocoagulação, Combatt *et al.* (2017) avaliaram o comportamento de eletrodos de ferro ou de alumínio na remediação de uma água residuária tratada preliminarmente, proveniente de um abatedouro de aves. Em relação à performance dos eletrodos de Fe, houve uma remoção de 84% da DQO, enquanto a cor da água residuária tratada aumentou. Ao testar o eletrodo de Al não houve aumento na cor aparente, além de remover 86% da DQO. A partir desses resultados, os autores consideraram o processo com eletrodo de Al a melhor opção de tratamento.

### 5.9.2 Biorremediação com microalgas

Microalgas têm a capacidade de se desenvolver rapidamente em ambientes com altas concentrações de nitrogênio e fósforo inorgânico (YOU *et al.*, 2023) e podem ser propícias para tratar águas residuárias de abatedouros e frigoríficos. Além da remoção de nutrientes, a biomassa resultante desse processo contém compostos de interesse comercial, como pigmentos e lipídios, que podem ser utilizados na produção de suplementos alimentares, medicamentos e biocombustíveis (ZABOCHNIKA *et al.*, 2022). Baseado na sua composição, diversos estudos têm avaliado essas águas residuárias tratadas como meio de cultivo para produção de biomassa de microalgas e remoção simultânea dos nutrientes e matéria orgânica.

Costa (2016) avaliou o cultivo de microalgas em lagoas de alta taxa alimentadas com águas residuárias primária ou secundária de uma indústria de processamento de carne. Os resultados mostraram que tanto o tratamento das águas residuárias primárias quanto secundárias reduziu a DQO, além do N-NH<sub>4</sub> e fósforo solúvel. Todavia, o tratamento de água residuária secundária não foi capaz de atender a legislação estadual em relação a concentração final de DQO. Em relação ao N-NH<sub>4</sub>, tanto o tratamento da água residuária primária quanto da secundária atenderam ao estabelecido na legislação, indicando a adequabilidade da tecnologia para tratamento a nível terciário. Além disso, houve uma diminuição significativa na presença de CT e *E. coli* na água residuária tratada.

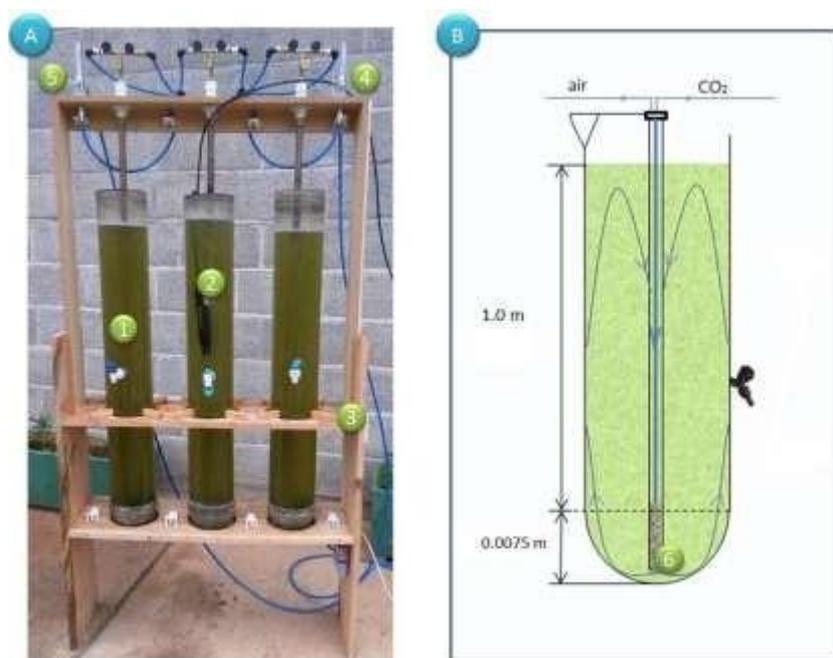
No estudo conduzido por Assemany *et al.* (2016), os autores também

avaliaram o cultivo de microalgas em águas residuárias primária e secundária, mas em um fotobiorreator do tipo coluna de bolhas operado em batelada (Figura 7a). Diferentemente dos reatores abertos de cultivo de microalgas, como as lagoas de alta taxa, o fotobiorreator é um reator fechado em que há um maior controle das condições operacionais e de cultivo, resultando em maiores produtividades de biomassa. Para isso, a unidade foi composta de injeção de ar para promover a mistura e de controle de pH (entre 6-8) a partir da suplementação de CO<sub>2</sub> (Figura 7b). Conseqüentemente, evitou-se valores elevados de pH, geralmente atingidos pela intensa atividade fotossintética, direcionando as rotas de remoção de nutrientes para a assimilação pela biomassa em detrimento da perda para a atmosfera (volatilização de NH<sub>3</sub>) ou precipitação química de P. Os autores verificaram remoções de 43,8%, 100% e 47,2% para DQO, N-NH<sub>4</sub> e fósforo solúvel no efluente primário, respectivamente. Para o efluente secundário, as remoções foram 29% para DQO e 100% para ambos N-NH<sub>4</sub> e fósforo solúvel. Por outro lado, a concentração de nitrato aumentou nas águas residuárias ao final do tratamento. Isso pode ser devido à nitrificação da amônia ocorrer em ambientes com alta concentração de oxigênio dissolvido e baixa concentração de matéria orgânica (VON SPERLING, 2007), como foi o caso da água residuária sendo tratada sob tais condições.

Comportamento semelhante foi verificado por Tango *et al.* (2018), ao avaliar o tratamento por microalgas de águas residuárias primárias e secundárias de processamento de carne no mesmo fotobiorreator. A remoção de DQO na água residuária secundária atendeu aos requisitos da legislação estadual, mas para a água residuária primária, os valores foram superiores a 180 mg.L<sup>-1</sup>. Foi verificado um aumento de 36% da DQO da água residuária secundária, e segundo os autores isso foi relacionado à liberação de compostos orgânicos pelas microalgas. Por outro lado, houve completa remoção de N-NH<sub>4</sub> e fósforo em ambos tipos de águas residuárias. Embora oxidar a amônia reduza a eventual toxicidade dessa água residuária, o nitrato gerado também pode favorecer o processo de eutrofização. Para eliminar nitrato e outros poluentes de forma simultânea, a desnitrificação microbiana (meio anóxico) combinada com outros processos biológicos (aeróbio, anaeróbio) têm sido avaliada para remediar águas residuárias de abatedouro e

refrigerado (PAN *et al.*, 2014; LOPES *et al.*, 2022; SAGHIR., HAJJAR, 2022).

Figura 7 - (a) Fotobiorreator de coluna de bolhas para cultivo de microalgas e tratamento de água residuária de indústria de processamento de carne. Os números indicam as partes constituintes: (1) tubo de acrílico; (2) sensor de pH; (3) estrutura de madeira para suporte; (4 e 5) fluxômetros; (b) (6) dispersor e dimensões de cada unidade. Reproduzido de Assemány *et al.* (2016).



Fonte: ASSEMANY *et al.* 2016.

Quando avaliadas as águas residuárias tratadas com microalgas (ASSEMANY *et al.*, 2016; COSTA, 2016; TANGO *et al.*, 2018) frente a resolução CONAMA 503/2021 (BRASIL, 2021), elas apresentaram pH dentro dos padrões para aplicação na fertirrigação. Considerando a presença de *E. coli*, Costa (2016) verificou uma faixa de valores entre  $1 \times 10^2$  e  $4,1 \times 10^2$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> após o tratamento, o que possibilita a aplicação do efluente tratado na irrigação de vegetais crus ou pastagens. Em relação a um dos parâmetros relevantes na agronomia, N-NH<sub>4</sub>, este foi removido totalmente em alguns dos tratamentos.

Barreiras técnicas e econômicas ao usar microalgas para tratar efluentes em fotobiorreatores fechados são discutidas por Tango *et al.* (2018), que associam o controle do processo por meio do pH, iluminação e grau de mistura a um grande consumo de energia principalmente devido à mistura, restringindo

sua aplicação em escala real. No entanto, os autores destacaram um potencial significativo de produção de biodiesel, superando a produtividade da soja, a qual é a principal matéria-prima para produzir esse biocombustível no Brasil (RAMOS *et al.*, 2022b). Ao analisar o potencial de produção de energia da biomassa produzida para biogás e biodiesel, Assemany *et al.* (2016) mencionaram que, além da viabilidade energética que precisa ser alcançada, existe ainda o alto custo de instalação e operação dos equipamentos. É importante agregar valor ao efluente, mas paralelamente é preciso atender aos padrões de descarte para o mesmo.

### 5.9.3 Processos anaeróbios não convencionais

Borges *et al.* (2015) avaliaram a aplicação de diferentes reatores anaeróbios em série, sendo dois reatores anaeróbios compartimentados, resultante de uma modificação do UASB, seguidos de um reator UASB em formato de “Y” para tratar água residuária bruta do abate de aves e suínos. Segundo os autores, esse biorreator possui área de 0,0078 m<sup>2</sup>, altura de 0,85 m e volume de 6,7 L. Os materiais utilizados para sua construção foram tubos de PVC com diâmetros de 100 mm, um separador de fases não convencional, além de uma ramificação lateral com um ângulo de 45° em relação à vertical, dando um formato de Y ao mesmo. Para uma vazão diária de 1,05 L.d<sup>-1</sup> e tempo de detenção hidráulica de 5,2 dias, foram verificadas remoções de DQO e DBO<sub>5</sub> acima de 80%. Todavia, o parâmetro SST ficou acima do máximo permitido para descarte.

Em outro trabalho do mesmo grupo, Marques., Dutra (2022) avaliaram a influência do tempo de detenção no reator UASB em forma “Y” de mesmas dimensões, em remover matéria orgânica de água residuária bruta do processamento de pescado. No entanto, nas condições ótimas de operação, com tempo de detenção hidráulica de 72 h, houve uma remoção de apenas 69% de DQO, enquanto a concentração de SST foi bem acima de 100 mg.L<sup>-1</sup>.

Trabalhos de um mesmo grupo avaliaram o desempenho de diferentes processos biológicos em série, sendo um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), seguido por um reator UASB, uma lagoa aerada facultativa e um sistema de *wetland* construído. Emboaba *et al.* (2013) avaliaram a remoção de matéria orgânica por esses processos combinados com recirculação da água

residuária. Foi verificada uma remoção de até 94% da DQO. Em Gomes *et al.* (2013), foi verificado o efeito de diferentes cargas orgânicas na eficiência desses processos combinados em série. Os autores notaram que as remoções globais de DBO e DQO variaram entre 78 e 95% e 92 a 98%, respectivamente. Para remoção de nutrientes, o reator UASB mostrou-se bastante eficiente em remover NTK durante o tratamento com recirculação do efluente, enquanto o RAHLF favoreceu a desnitrificação. Ao considerar o tratamento global, verificou-se remoção de 84% de NTK. Contudo, devido a degradação anaeróbia das proteínas houve geração de  $N-NH_4$  em concentrações acima do permitido para descarte (SANTOS *et al.*, 2013).

Fia *et al.* (2015) avaliaram a remoção de matéria orgânica durante o período de estabilidade do sistema RAHLF seguido de um reator UASB do mesmo estudo anterior. Segundo os autores, o primeiro estágio teve a finalidade de promover a hidrólise parcial de matéria orgânica complexa, enquanto o segundo seria digerir os compostos solúveis formados no primeiro reator. Inicialmente no RAHLF foi verificada uma remoção de 74% da DQO, a qual foi aumentada para 86% por meio do reator UASB. No que diz respeito à concentração de SST, embora o desempenho do sistema em série tenha sido superior ao do RAHLF isolado, ainda foram observados valores de até  $712 \text{ mg.L}^{-1}$ , não estando em conformidade com a legislação estadual para descarte em corpos hídricos.

A avaliação do potencial de reutilização agrícola das águas residuárias tratadas por processos anaeróbios não convencionais não pôde ser discutida aqui, devido à falta de dados necessários frente aos padrões estabelecidos na resolução CONAMA 503/2021 (BRASIL, 2021).

Tabela 10 - Características de águas residuária de abatedouros e frigoríficos tratadas em escala de bancada.

(Continua)

Tipo de efluente	Tratamento	pH inicial	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Outros parâmetros	Remoção de DBO <sub>5</sub> (%)	Remoção de DQO (%)	Referências
Primário	Cultivo de microalgas em	-	-	239,5	0,0	-	Fósforo: 1,9 mg.L <sup>-1</sup>	-	31,3	<i>Assemany et al. (2016)</i>
Secundário	fotobiorreator de coluna de bolhas	-	-	70,9	0,0	-	Fósforo: 0,0 mg.L <sup>-1</sup>	-	28,6	
Bruto	2 reatores anaeróbios compartimentados em série + 1 reator UASB em "Y"	6,48	64	386	-	193	ST: 572 mg.L <sup>-1</sup>	83	89	<i>Borges et al. (2015)</i>
Preliminar	Eletrocoagulação com eletrodos de Fe	4, 5,5; 7	-	623,8	-	-	-	-	84	<i>Combatt et al. (2017)</i>
Preliminar	Eletrocoagulação com eletrodos de Al	4 - 7	-	545	-	-	-	-	86	

Fonte: do autor.

Tabela 10 - Características de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos tratadas em escala de bancada

(continuação)

Tipo de efluente	Tratamento	pH inicial	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Outros parâmetros	Remoção de DBO <sub>5</sub> (%)	Remoção de DQO (%)	Referências
Primário	Cultivo de microalgas em lagoas de alta taxa	5,2 - 6,7	-	551,6 - 1571,9	7,1 - 29,5	-	Fósforo: 0 - 1,7 mg.L <sup>-1</sup> ; CT: 1,1×10 <sup>4</sup> - 5,2×10 <sup>6</sup> NMP.100 mL <sup>-1</sup> ; <i>E. coli</i> : 0 - 4,1×10 <sup>2</sup> NMP.100		24,3 - 74	Costa (2016)
Secundário		7 - 7,9	-	229,7 - 617,2	0 - 1,5	-	mL <sup>-1</sup> Fósforo: 0 - 0,1 mg.L <sup>-1</sup> ; CT: 2,4×10 <sup>2</sup> - 1,5×10 <sup>4</sup> NMP.100 mL <sup>-1</sup> ; <i>E. coli</i> : 0 NMP.100		-480,9 - 33,4	
Bruto	Reator UASB em forma de Y	6,9	89	320	-	238	mL <sup>-1</sup> -	73	68	Dutra <i>et al.</i> , (2016); Marques e Dutra (2022)

Fonte: do autor.

Tabela 10 - Características de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos tratadas em escala de bancada

(continuação)

Tipo de efluente	Tratamento	pH inicial	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Outros parâmetros	Remoção de DBO <sub>5</sub> (%)	Remoção de DQO (%)	Referências
Bruto	Reator UASB em forma de Y	6,4 - 7,1	472	911	-	480	-	90	69	Dutra <i>et al.</i> , (2016); Marques e Dutra (2022)
Bruto	RAHLF + UASB + lagoa aerada facultativa + <i>wetland</i> construído	-	-	134	-	-	-	-	94	Emboaba <i>et al.</i> (2013)
		-	34 - 37	41 - 56	-	-	-	78 - 85	92 - 96	Gomes <i>et al.</i> (2013)
		-	-	-	36 - 49	-	NO <sub>3</sub> = 53,3 - 127,5 mg.L <sup>-1</sup> ; NO <sub>2</sub> = 36,3 - 73,7 mg.L <sup>-1</sup>	-	-	Santos <i>etal.</i> (2013)
Bruto	Coagulação com Quitosana	5,5 - 6,5	-	2475 - 4025	49 - 75	-	Fósforo: 4 - 5 mg.L <sup>-1</sup> ; ST: 620 - 749 mg.L <sup>-1</sup>	-	58,5 - 67,6	Melo <i>et al.</i> (2022)

Tabela 10 - Características de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos tratadas em escala de bancada

(Conclusão)

Tipo de efluente	Tratamento	pH inicial	DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	N-NH <sub>4</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	SST (mg.L <sup>-1</sup> )	Outros parâmetros	Remoção de DBO <sub>5</sub> (%)	Remoção de DQO (%)	Referências
Bruto	Seis reatores anaeróbios em paralelo em diferentes temperaturas	-	270 - 295	977 - 986	-	-	-	50 - 54	25 - 39	Lima (2019)
			266 - 240	1056 - 911	-	-	-	56 - 55	10 - 19	
			206 - 186	870 - 801	-	-	-	58 - 60	19 - 24	
			219 - 189	913 - 782	-	-	-	57 - 61	26 - 38	
			201 - 188	872 - 680	-	-	-	64 - 64	26 - 42	
			200 - 182	926 - 802	-	-	-	59 - 60	26 - 38	
Primário	Cultivo de microalgas em	5,2 - 6,5	-	155,8 - 190*	0	-	Fósforo: 0 - 3,7 mg.L <sup>-1</sup>	-	30,8 - 54,9	Tango <i>et al.</i> (2018)
Secundário	fotobiorreator de coluna de bolhas	7,4 - 7,6	-	39 - 86*	0 - 8,8	-	Fósforo: 0 mg.L <sup>-1</sup>	-	-36,3 - 50	
Bruto	RAHLF	-	-	1116	-	712	-	-	74	Fia <i>et al.</i> (2015)
	RAHLF + UASB	-	-	601	-	162	-	-	86	

Fonte: do autor.

Legenda: \* = DQO solúvel.

### 5.10 Reaproveitamento biotecnológico de efluente de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais.

Após os tratamentos convencionais, efluentes de abatedouros e frigoríficos costumam conter ainda uma alta concentração de nitrogênio e fósforo (BUSTILLO-LECOMPTE., MERHAVAR, 2015). Diante disso, estes podem servir de substrato para o cultivo de algas autotróficas.

No estudo conduzido por Assemany *et al.* (2016), eles avaliaram o acúmulo de lipídeos e o potencial de produção de biogás a partir da biodegradação da biomassa acumulada de algas cultivadas em efluentes coletados após tratamentos físico-químicos (efluente primário) e após tratamento biológico (efluente secundário), conforme já comentado no tópico anterior. A análise da biomassa produzida verificou teores de lipídeos de 7% e 6,1% nos cultivos com efluentes primário e secundário, respectivamente. Adicionalmente, verificou-se uma maior produção de metano ao utilizar a biomassa obtida a partir do efluente primário, obtendo-se um valor de 0,44 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> de sólidos voláteis totais.

Em outro estudo do mesmo grupo, Tango *et al.* (2018) avaliaram o efeito das condições nutricionais ao testar diferentes amostras de efluentes primários e secundários para o cultivo de algas no mesmo fotobiorreator do estudo anterior. Eles observaram que as amostras de efluentes com maiores concentrações de N, P e com proporções N:P próximas de 10:1, resultaram em um maior acúmulo de biomassa e lipídios. Como no trabalho anterior, o gênero predominante de algas foi *Scenedesmus sp*, tanto no cultivo com efluente primário quanto com secundário. Os resultados mostraram que os diferentes efluentes avaliados contendo concentrações diferentes de nutrientes afetaram apenas o acúmulo de biomassa, sem diferenças significativas no acúmulo de lipídeos. Mesmo assim, foi verificado uma produtividade de 15,6 mg.L<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> de lipídeos a partir de microalgas cultivadas nas amostras mais concentradas em nitrogênio amoniacal, valor superior ao obtido no estudo anterior. A produção de lipídios é um aspecto essencial a ser considerado, pois eles podem servir de insumo para várias aplicações, como na produção de biodiesel (MIKSCH *et al.*, 2015).

Costa (2016) realizou uma avaliação da utilização de mais de uma amostra de efluentes primários e secundários para o cultivo de algas em lagoas de alta taxa. O cultivo com os efluentes primário e secundário produziram até 23,3 g.dia<sup>-1</sup> e 10,6 g.dia<sup>-1</sup> de biomassa, respectivamente. A utilização dos efluentes primários resultou

em uma maior produção de biomassa devido às suas concentrações iniciais de nutrientes serem mais elevadas em comparação aos secundários.

Em um estudo conduzido por Borges (2011), foi avaliada a produção de biossurfactante por meio de cultivo em reator batelada com volume útil de 1,5 L por diferentes linhagens da bactéria *P. aeruginosa* usando como substrato as gorduras provenientes de flutuadores de ETEs de abatedouros de aves e suínos. Os resultados obtidos indicaram que um teor aproximado de material graxo de 20% no efluente industrial e uma concentração de nitrogênio de 0,2 g.L<sup>-1</sup> foram apropriados para a produção de biossurfactante. Os experimentos realizados seguindo um planejamento fatorial demonstraram que a linhagem ATCC 10145 apresentou um maior potencial de produção de ramnolipídeos, um tipo de biossurfactante, e maior redução da tensão superficial do meio em comparação com a linhagem ATCC 9027, ao avaliar diversas concentrações de efluente e nitrato de amônio como fonte de nitrogênio.

Borges *et al.* (2015), utilizando a mesma linhagem ATCC 10145 do estudo anterior, avaliou a influência de outros parâmetros na produção de ramnolipídeos, como o nível de aeração, velocidade de agitação e a concentração de inóculo no mesmo biorreator do estudo anterior. Nas condições ideais de aeração de 1,2 vvm, 600 rpm e uma concentração de inóculo de 1,0 g.L<sup>-1</sup>, foi alcançada uma produção de biossurfactante de 5,37 g.L<sup>-1</sup>. Esse valor representa um aumento de 39% em relação ao estudo anterior (BORGES, 2011).

## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou dados de um levantamento bibliográfico a respeito da caracterização de águas residuárias de abatedouros e frigoríficos, os quais apresentam alta concentração de matéria orgânica, mensurada pelos parâmetros DBO<sub>5</sub> e DQO, além de óleos e graxas, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e nitrogênio amoniacal. Quando os valores foram avaliados em relação aos padrões de descarte das legislações federal e estadual, foi constatado que eles são inapropriados para o descarte em corpos hídricos, necessitando ser tratados.

A razão média DQO/DBO<sub>5</sub> indicou que as águas residuárias brutas apresentaram um índice de biodegradabilidade acima de 0,4, o que evidencia que processos biológicos sejam os mais indicados para tratar esse tipo de água residuária. Considerando a alta concentração de matéria orgânica, os processos biológicos anaeróbios seriam mais recomendados para tratar esses efluentes. Ao analisar as proporções DBO<sub>5</sub>:N:P e DQO:N:P, foi verificado que a concentração de nitrogênio está acima do ideal. Por outro lado, a baixa quantidade relativa de fósforo em algumas amostras sugere a suplementação desse nutriente para realização de tratamentos biológicos. Embora tenham sido realizadas análises de correlação linear entre DBO<sub>5</sub> e DQO em águas residuárias brutas, parcialmente tratadas ou tratadas, não foi possível encontrar uma correlação linear forte entre esses parâmetros.

Apesar das remoções percentuais de DQO e DBO<sub>5</sub> terem atendido aos padrões de descarte pela maioria das ETEs de abatedouros e frigoríficos de Minas Gerais, dados de SST e N-NH<sub>4</sub> acima dos máximos permitidos acusam deficiências nos processos convencionalmente adotadas nas ETEs das indústrias. Além de a destinação final ter sido o descarte em corpos hídricos ou na rede coletora de esgoto municipal, também foi verificado que a fertirrigação com águas residuárias tratadas é muito comum no estado, sendo uma destinação sustentável por prover nutrientes à vegetação.

Cada abatedouro e/ou frigorífico possui sua particularidade na forma de tratar suas águas residuárias, mas a maioria tem adotado peneiras e principalmente caixas de gordura para remoção de sólidos grosseiros e óleos e graxas. Esses sólidos são geralmente encaminhados à graxaria para geração de subprodutos. O uso de tanques de flotação por ar dissolvido como tratamento primário foi bastante evidenciado. Entre os processos biológicos mais comumente empregados, destaca-

se a sequência de lagoa anaeróbia seguida de lagoas aerada e/ou facultativa.

Em relação às tecnologias alternativas de tratamento revisadas neste estudo, a utilização de microalgas no processo de biorremediação demonstrou alta eficiência em remover nitrogênio e fósforo. Por outro lado, alguns dos processos avaliados foram ineficientes em reduzir matéria orgânica e  $N-NH_4$  abaixo do máximo permitido para descarte.

O reaproveitamento biotecnológico desse efluente tratado ou parcialmente tratado se apresentou-se como uma estratégia promissora para reduzir os impactos ambientais decorrentes do teor residual de nutrientes ainda presentes nessas águas residuárias. Esta abordagem se mostra relevante na indústria de abatedouros e frigoríficos, pois além de contribuir para a eficiência e aproveitamento de recursos, possibilita obter precursores ou produtos de valor agregado a partir dos seus efluentes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. **Números do setor**. [Pinheiros – SP]: ABIA, 2022. Disponível em: <https://www.abia.org.br/vsn/temp/z202329INFOGRAFICO.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Exportações por estado produtor 2020**. [Brasília]: ABIEC, 2022. Disponível em: <http://abiec.com.br/exportacoes/>. Acesso em: 18 maio 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário peixe br 2023**. [São Paulo]: PEIXEBR, 2023. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/entidade/>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatórios ABPA 2022**. [Jardins - SP]: ABPA, 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/relatorios/>. Acesso em: 18 maio 2022.

AFOLALU, S. A. *et al.* Waste pollution, wastewater and effluent treatment methods -An overview. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 3282-3288, 2022.

ALVES, S. S. *et al.* Resposta fenológica da fase vegetativa do milho crioulo irrigado com efluente tratado de abatedouro de bovinos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n.12, p. 184-195, 2021.

ARAÚJO, I. R. C. *et al.* Reforested soil under drip irrigation with treated wastewater from poultry slaughterhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p. 439-445, 2019.

ASSEMANY, P. P. *et al.* Energy potential of algal biomass cultivated in a photobioreactor using effluent from a meat processing plant. **Algal Research**, v. 17, p. 53-60, 2016.

ASSES, N. *et al.* Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. **Process Safety and Environmental Protection**, v.124, p. 128-136, 2019.

BEST AVAILABLE TECHNIQUES. Reference Document for the Slaughterhouses. **Animal by-products and edible co-products industries**. [S.l]: BREF, 2021. Disponível em: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/SA-BREF-20210629.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BORGES, W. S. **Aproveitamento de efluente gorduroso gerado por abatedouro e frigorífico para produção de biossurfactante**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

BORGES, T. M. R. *et al.* Desempenho de reator anaeróbio compartimentado (ABR) seguido de reator UASB em “Y” na remoção de matéria orgânica e sólidos em efluentes do processamento de frangos. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAL*, 4., 2017, Rio de Janeiro, **Anais** [...]. Rio de Janeiro: SIGERA, 2015. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.36\\_LucianoSantosRodrigues.pdf](http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.36_LucianoSantosRodrigues.pdf). Acesso em: 14 ago. 2023.

DE BEM LUIZ, D. *et al.* **Manual para gestão da água e de resíduos do processamento de peixes**. Brasília: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127919/manual-para-gestao-da-agua-e-de-residuos-do-processamento-de-peixes>. Acesso em: 28 set. 2023.

BRASIL. Conselho nacional de meio ambiente. Resolução nº430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de padrões de lançamentos de efluentes. *Diário Oficial [da] república federativa do Brasil*, Poder executivo, Brasília, DF, nº 92 de 16 de maio de 2011. Disponível em <http://conama.mma.gov.br/imagens/conteúdo/LivroConama.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL. Conselho nacional de meio ambiente. Resolução nº503, de 14 de Dezembro de 2021. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. *Diário Oficial [da] república federativa do Brasil*, Poder executivo, Brasília, nº 236 de 16 de Dezembro de 2021. Disponível em: [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=813](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=813). Acesso em: 06 jan. 2023

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2021-2022 a 2031-2032**. Brasília: MAPA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2021-2022-a-2031-2032-1/@@download/file>. Acesso em: 01 jun. 2023.

BUSTILLO-LECOMPTE, C.; MEHRVAR, M.; QUIÑONES-BOLAÑOS, E. Slaughterhouse wastewater characterization and treatment: an economic and public health necessity of the meat processing industry in Ontario, Canada. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 4, n. 4, p. 175-186, 2016b.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v.161, p. 287-302, 2015.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Treatment of an actual slaughterhouse wastewater by integration of biological and advanced oxidation processes: Modeling, optimization, and cost-effectiveness analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 182 p. 651-666, 2016a.

C, F. C.; KUMAR, P. S.; MOHANAKRISHNA, G.; HEMAVATHY, R. V.; RANGASAMY, G.; AMINABHAVI, T. M. Sustainable production of biosurfactants via valorization of industrial wastes as alternate feedstocks. **Chemosphere**, v. 312, p. 137326, 2023.

CHAPRÃO, M. J. *et al.* Application of bacterial and yeast biosurfactants for enhanced removal and biodegradation of motor oil from contaminated sand. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 18, p. 471-479, 2015.

COMBATT, M. P. M. *et al.* Validação do processo de eletrocoagulação e avaliação da eletrodissolução de eletrodos no tratamento de efluentes de abatedouros de aves. **Química Nova**, v. 40, p. 447-453, 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Norma técnica T.187/6**, Lançamento de efluentes líquidos não domésticos no Sistema de esgotamento sanitário da COPASA. Belo Horizonte: COPASA, 2018. Disponível em: <http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/PRECED%20NORMA%20TCNICA%20T%20187-6.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

COSTA, L.S. **Tratamento de efluentes primário e secundário da indústria de carnes com microalgas**. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/7749>. Acesso em: 10 mar. 2023.

COSTA, R. C. *et al.* Critical analysis and predictive models using the physicochemical characteristics of cassava processing wastewater generated in Brazil. **Journal of Water Process Engineering**, v. 47, e102629, 2022.

DIAS, O. A.; AGUIAR, F. S.; TIAGO, J. P. F. Avaliação da eficiência do tratamento de efluentes líquidos industriais de um abatedouro de bovinos. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 13., Poços de caldas, **Anais [...]**, Poços de Caldas: Meio ambiente pocos, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Laboratorio/Desktop/Qualifica%C3%A7%C3%A3o/Dias%202016.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

DIAS, G. *et al.* Biorremediação de efluentes por meio da aplicação de microalgas-uma revisão. **Química Nova**, v. 42, p. 891-899, 2019.

DUTRA, J. C. F. D. *et al.* Desempenho de estação de tratamento de águas residuárias de abatedouros quanto ao atendimento a legislação ambiental em Minas Gerais. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAL, 3., São Pedro, **Anais [...]**, São Pedro: Sigera, 2013. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in\\_sis\\_03\\_JoyceDutra.PDF](http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in_sis_03_JoyceDutra.PDF). Acesso em: 06 fev. 2023.

DUTRA, J. C. F. *et al.* Análise do desempenho do reator anaeróbio UASB do tratamento de efluentes de processamento de pescado. *In*: 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA AGROPECUÁRIA, AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 1., Jaboticabal, **Anais [...]**, Jaboticabal: Cetrel, 2016. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/08/An%C3%A1lise-do-desempenho-de-reator-anaer%C3%B3bio-UASB-no-tratamento-de-efluentes-de-processamento-de-pescado.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.

EMBOABA, D. G. *et al.* Remoção de matéria orgânica de efluentes de abatedouro em sistema anaeróbio/aeróbio com recirculação de efluente. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27.*, Goiânia, **Anais [...]**, Goiânia: Cbesa, 2013. Disponível em: <https://anais.abes-dn.org.br/download.php?idtema=2&idevento=22>. Acesso em: 01 ago. 2023

FEDERICI, F. *et al.* Valorization of agro-industrial by-products, effluents and waste: concept, opportunities and the case of olive mill wastewaters. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v.84, p. 895-900, 2009.

FIA, R. *et al.* Start-Up Of Anaerobic Reactors For Slaughterhouse Wastewater Treatment. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p.331-339, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **The state of world fisheries and aquaculture 2022**. Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2022.

GHUMRA, D. P.; AGARKOTI, C.; GOGATE, P. R. Improvements in effluent treatment technologies in common effluent treatment plants (CETPs): review and recent advances. **Process safety and environmental protection**, v. 147, p. 1018-1051, 2021.

EMBOABA, D. G. *et al.* Remoção de matéria orgânica de efluentes de abatedouro em sistema anaeróbio/aeróbio com recirculação de efluente. *In: 27 CBESA - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27.*, Goiânia, **Anais [...]**, Goiânia: Cbesa, 2013. Disponível em: <https://anais.abes-dn.org.br/download.php?idtema=2&idevento=22>. Acesso em: 01 ago. 2023

GOMES, E. M. *et al.* Desempenho de sistemas biológicos combinados na remoção de DBO e DQO de efluentes de abatedouro. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27.*, Goiânia, **Anais [...]**, Goiânia: Cbesa, 2013. Disponível em: <https://anais.abes-dn.org.br/download.php?idtema=2&idevento=22>. Acesso em: 01 ago. 2023

GRADVOHL, S. T.; AQUINO, M. D. Avaliação dos riscos ecotoxicológicos do reúso de efluentes tratados na piscicultura devido à presença de nitrogênio amoniacal. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 4550-4560, 2022.

HEUBECK, S.; CRAGGS, R. J.; Biogas recovery from a temperate climate covered anaerobic pond. **Water Science and Technology**. v. 61, p. 1019-1026. 2010.

HILARES, R. T. *et al.* Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, p.105174, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da produção pecuária**. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2023. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_202201caderno.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf). Acesso em: 01 jun. 2023.

JANUÁRIO, M. A. P. **Avaliação de desempenho de estação de tratamento de efluente de três indústrias de abate de bovinos e suínos em Minas Gerais: Estudo de caso**. 2012. 83f. Monografia (Curso de Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) - Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-9H3GHL>. Acesso em: 06 fev. 2023.

JUNEJA, A.; CEBALLOS, R. M.; MURTHY, G. S. Effects of environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production: a review. **Energies**, v. 6, n. 9, p. 4607-4638, 2013.

KANMANI, P. *et al.* Environmental applications of chitosan and cellulosic biopolymers: A comprehensive outlook. **Bioresource Technology**, v.242, p. 295-303, 2017.

KYZAS, G. Z.; MATIS, K. A. Flotation in Water and Wastewater Treatment. **Processes**, v. 6, n. 8, p. 116, 2018

LEE, Y. C. *et al.* Acute toxicity assessment of TFT-LCD wastewater using *Daphnia similis* and *Cyprinus carpio*. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 104, p. 499-506, 2016.

LIMA, C. A. **Reator UASB seguido de filtro anaeróbio para o tratamento de águas residuárias de abatedouros avícola pré-acidificada**. 2014. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/SMOC-9TMPWP>. Acesso em: 05 fev. 2023.

LIMA, C. A. **Insights into impacts of temperature and organic load in anaerobic reactors treating effluents from fish processing industry**. 2019. 99f. 2019. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30568/1/Tese%20Camila%20de%20Aguiar%20Lima.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

LIMA, J. A. M. *et al.* Techno - economic and performance evaluation of energy production by anaerobic digestion in Brazil: bovine, swine and poultry slaughterhouse effluents. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123332, 2020.

LIMA, J. P. P.; MELO, E. D.; AGUIAR, A. Characteristics and ways of treating cosmetic wastewater generated by Brazilian industries: A review. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 168, p. 601-612, 2022.

LOPES, B. C. *et al.* Efeito do tratamento preliminar-primário no desempenho de E.T.E de abatedouros. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 3., 2013, São Pedro, **Anais** [...], São Pedro: SIGERA, 2013. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in\\_tec\\_09\\_BrunaLopes.pdf](http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in_tec_09_BrunaLopes.pdf). Acesso em: 06 fev. 2023

LOPES, B. C. *et al.* Partida de reator UASB compartimentado no tratamento de águas residuárias de um abatedouroavícola. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS*, 2., 2011, Foz do Iguaçu, **Anais [...]**, Foz do Iguaçu: SIGERA, 2011. Disponível em: <http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t134.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2023.

LOPES, C. L. *et al.* Nitrogen removal from poultry slaughterhouse wastewater in anaerobic-anoxic-aerobic combined reactor: integrated effect of recirculation rate and hydraulic retention time. **Journal of Environmental Management**, v. 303, p. 114162, 2022.

LORY, J. A.; MASSEY, R.; ZULOVICH, J. Evaluation of the USEPA Calculations of Greenhouse Gas Emissions from Anaerobic Lagoons. **Journal of Environmental Quality**, v. 39, n. 3, p. 776-783, 2010

MALKAPURAM, S. T. *et al.* A review on recent advances in the application of biosurfactants in wastewater treatment. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 48, p. 101576, 2021.

MARQUES, R. F. P. V.; DUTRA, J. C. F. Tratamento de águas residuárias de processamento de pescado em reator anaeróbico em forma de Y seguido de filtro aeróbico percolador. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n.6, p.125-139, 2022.

MARZUKI, T. N. T. M. *et al.* Enhancement of bioreactor performance using acclimatised seed sludge in anaerobic treatment of chicken slaughterhouse wastewater: Laboratory Achievement, Energy Recovery, and Its Commercial-Scale Potential. **Animals**, v. 11, n. 11, p. 3313, 2021.

MATHEYARASU, R.; BOLAN, N.S; NAIDU, R. Abattoir wastewater irrigation increases the availability of nutrients and influences on plant growth and development. **Water, air, & Soil Pollution**. v. 227, p. 253, 2016.

MELO, D. S. *et al.* Employment of chitosan in the removal of pollutants in fish processing effluents. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.74, n. 5, p. 800-806, 2022.

MENEGASSI, L. C. *et al.* Reuse in the agro-industrial: Irrigation with treated slaughterhouse effluent in grass. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119698, 2020.

MIKSCH, K. *et al.* R&D priorities in the field of sustainable remediation and purification of agro-industrial and municipal wastewater. **New Biotechnology**, v. 32, n. 1, p. 128-132, 2015.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Conselho Estadual de Políticas Ambientais. Deliberação Normativa Conjunta nº 01 de 17 de março de 2008. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 13 de mai. 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: 06 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Conselho Estadual de Políticas Ambientais. Deliberação Normativa Conjunta nº 08 de 21 de novembro de 2022. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 02 de dez. 2022. Disponível em:

<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>. Acesso em: 06 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 1351151 de 30 de novembro de 2017. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2017a. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/02vgrAaE-\\_AR5llwgmGcKFIPIEvbLeL.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/02vgrAaE-_AR5llwgmGcKFIPIEvbLeL.pdf). Acesso em: 08 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0535116 de 30 de novembro de 2017. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2017b. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/8gBKT8yr39Vf00zNjYaxxqnHILLI4Cw-.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 085 de 30 de novembro de 2017. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2017c. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/RKN6U91-9rlvcDny1PIUhA3jh3EHwRhZ.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 1295932 de 30 de novembro de 2017. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2017d. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/5tWUCZqAivbmslHwF5XiieLSrPVkiQn2.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 1365931 de 30 de novembro de 2017. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2017e. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/Be5v7X\\_\\_\\_\\_\\_erJ134kWQ3nfAmOQjUIGKkTF.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/Be5v7X_____erJ134kWQ3nfAmOQjUIGKkTF.pdf). Acesso em: 03 abr. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0267512 de 05 de fevereiro de 2018. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2018a. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/NEisRhrn1kGel-gvmaSmSy7LxGDJrN-x.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0872178 de 05 de fevereiro de 2018. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 05 de fev. 2018b. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/56blktKqPeRGNLlhEluUojO3jOSiigTf.pdf>> Acesso em: 21 jul. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0203640 de 09 de março de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 09 de mar. 2019a. Disponível em:

[http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/0hAPd5QyO6qd6D9LsG5ehIM2tY5b2IW\\_.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/0hAPd5QyO6qd6D9LsG5ehIM2tY5b2IW_.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0203640 de 09 de março de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 09 de mar. 2019b. Disponível em:

[http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/RWx3m9GGFMeTrQ5s56bYlcVq9kWkwDr\\_.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/RWx3m9GGFMeTrQ5s56bYlcVq9kWkwDr_.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0654079 de 28 de março de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 28 de mar. 2019c. Disponível em:

[http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/dI9Sh94IAnmEe3YdlT\\_Pj5bX-iO\\_t0HG.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/dI9Sh94IAnmEe3YdlT_Pj5bX-iO_t0HG.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0263294 de 28 de março de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 28 de mar. 2019d. Disponível em:

[http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/nkPkqht\\_vnP\\_rDuyoQwK9njX2pdYNrq1.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/nkPkqht_vnP_rDuyoQwK9njX2pdYNrq1.pdf). Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0652111 de 01 de abril de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 01 de abr. 2019e. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/NYJ123wqAMZQE1t\\_Fz0S-SLos0ANCw7t.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/NYJ123wqAMZQE1t_Fz0S-SLos0ANCw7t.pdf). Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0047030 de 01 de abril de 2019. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 01 de abr. 2019f. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/dCV\\_OXb\\_9uLpC CIY-yGnjoUxQK\\_UNsrs.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/dCV_OXb_9uLpC CIY-yGnjoUxQK_UNsrs.pdf). Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0554610 de 25 de janeiro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 25 de jan. 2020a. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/Jy7NhZBcVPhEXdhStsdk E-60xhPfeaU5.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0463103 de 13 de outubro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 13 de out. 2020b. Disponível em: [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es\\_remotas/\\_45%C2%AA\\_RO\\_CID/Item\\_05.2\\_Frigor%C3%ADfico\\_Leste\\_Ltda.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es_remotas/_45%C2%AA_RO_CID/Item_05.2_Frigor%C3%ADfico_Leste_Ltda.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0241880 18 de outubro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 18 de out. 2020c. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/x4zEMqMlwlJT4wrHS-meR67NcRpBXAe.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0557431 de 18 de outubro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 18 de out. 2020d. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/QoqS6swbd\\_p0r7vOTXMzU-qEsOjyaZc.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/QoqS6swbd_p0r7vOTXMzU-qEsOjyaZc.pdf). Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0514761 de 10 de novembro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 10 de nov. 2020e. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/3FHeWHHY1jTyhD0df85zT0dy38qnEzgT.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 5265 de 08 de outubro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 08 de out. 2020f. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/UxxJtNV9dPsCuEZQjXt8N4wlRUJVK6lw.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0221443 de 20 de maio de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 20 de mai. 2020g. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/ZfFGhFnQYyvM7a51bF091LDxgl73M2di.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0298 de 16 de julho de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 16 de jul. 2020h. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/K8Ve5pp5gQwiaM6look2YgYWUQqGgmPk.pdf>. Acesso em: 20 de fev. de 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 33 de 20 de outubro de 2020. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 20 de out. 2021a. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/sJVklsmfEP9h5ODXDYW9dTIXQK1CKNFP.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 140 de 23 de março de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 23 de mar. 2021b. Disponível em:

[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es\\_remotas/\\_60%C2%AA\\_RO\\_CID/Item\\_06.1\\_FRICAL\\_ALIMENTOS\\_S.A.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es_remotas/_60%C2%AA_RO_CID/Item_06.1_FRICAL_ALIMENTOS_S.A.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0220755 de 23 de março de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 23 de mar. 2021c. Disponível em:

[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es\\_remotas/\\_51%C2%AA\\_RO\\_CID/APROVADO\\_Item\\_10.01\\_Frigoserrana\\_Ltda.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es_remotas/_51%C2%AA_RO_CID/APROVADO_Item_10.01_Frigoserrana_Ltda.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 100 de 12 de agosto de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 12 de ago. 2021d. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/CUL4U4xoJzWLANsFVOTqW1HevrnYu6ZM.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 46580 de 03 de março de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 03 de mar. 2021e. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/bTWTbD4HjyCNy1e4mn5E4AiJ9YXmwyg.pdf>. Acesso em: 25 de set. de 2022

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 17 de 03 de março de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 03 de mar. 2021f. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/JHp112QeD\\_1zxtohl4055qMOs\\_KnLCJo.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/JHp112QeD_1zxtohl4055qMOs_KnLCJo.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 186 de 03 de março de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 03 de mar. 2021g. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/dAEP9mbkWZPLrOscG9QplwjkmIXWzwTZ.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 26061304 de 26 de julho de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 26 de jul. 2021h. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/3JhWJFEY59jYK2hHGZTaPpHC1nZryBrD.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 113 de 06 de abril de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 06 de abr. 2021i. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/xZJpNZkh5KQmP8rSle4yQHdHlOncdWL.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 53 de 06 de abril de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 06 de abr. 2021j. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/UY2RVv8y-176oPYdPzOdqSji18SRMHiN.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0335871 de 06 de maio de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 06 de mai. 2021k. Disponível em: [http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/HFK1F5zETQaldOaxD5Kgjf\\_K5dh47Dfb.pdf](http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/HFK1F5zETQaldOaxD5Kgjf_K5dh47Dfb.pdf). Acesso em: 20 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 68 de 13 de maio de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 13 de mai. 2021l. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/NLPExR1XuXxbF86VL9TOMrwlcl105JZbM.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0004126 de 07 de janeiro de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 07 de jan. 2021m. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/TYdUflrNGyAmHDjFtTRp5RO2TpifY2cP.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 0261193 de 08 de junho de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 08 de jun. 2021n. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/6yf3-GKHF-E8mZYE2b7QNA0QGGJq6Hoi.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 37278789 de 05 de novembro de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 05 de nov. 2021o. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/sficUYLqHBLvkaPE0WHzgBNGdm3UvWYT.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único sem número de 05 de novembro de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 05 de nov. 2021p. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/o2V6RauDyRSkTv0c1tm4v5-Fa0dVg-uK.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 38801541 de 30 de novembro de 2021. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 30 de nov. 2021q. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/ZsTwBXWE3hK1WLFYoCkiBcOxd0IoD1zM.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023

MINAS GERAIS. Secretariade Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 51249328 de 21 de julho de 2022. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 21 de jul. 2022a. Disponível em: [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es\\_remtas\\_/68%C2%AA\\_RO\\_CID/Item\\_08.4\\_Frigor%C3%ADfico\\_S%C3%A3o\\_Pedro\\_Ltda.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/COPAM/Reuni%C3%B5es_remtas_/68%C2%AA_RO_CID/Item_08.4_Frigor%C3%ADfico_S%C3%A3o_Pedro_Ltda.pdf). Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 13 de 21 de julho de 2022. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 21 de jul. 2022b. Disponível em: <https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/Yb47YVeBAYeE2G6MG SW9TaEd7lr0T4ak.pdf>. Acesso em: 25 set. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 43374343 de 09 de março de 2022. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 09 de mar. 2022c. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/4q5B9I5HOAvIRLQZBfSI 86Asev6GhRxA.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer Único N° 162 de 14 de setembro de 2022. *Diário Executivo [de] Minas Gerais*. Poder Executivo, Belo Horizonte, MG, 14 de set. 2022d. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/R4QB0CvFA2RBGhnQ 3orbvDPbxMTTcfik.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2023

MNIF, I.; GHRIBI, D. Glycolipid biosurfactants: main properties and potential applications in agriculture and food industry. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n.13, p. 4310-4320, 2016.

MOZHARASI, V.; NATARAJAN, T. S. Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-4, 2022

MOFIJUR, M. *et al.* Bioenergy recovery potential through the treatment of the meat processing industry waste in Australia, **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 9, n. 4, p. 105657, 2021.

NAKKARIKE, S. M. *et al.* Value addition to sea food processing discards. *In*: ALASALVAR, C.; MIYASHITA, K.; SHAHIDI, F.; WANASUNDARA, U. (Ed.). **Handbook of seafood quality, safety and health applications**. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

NG. M. *et al.* Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review. **Processes**, v.10, n. 7, p.1300, 2022.

NJOYA. M.; BASITERE. M.; NTWAMPE. S.K.O. Analysis of the characteristics of poultry slaughterhouse wastewater (PSW) and its treatability. **Water Practice & Technology**, v.14, n. 4, p. 959-970, 2019.

OLANIRAN, E. I.; SOGBANMU, T. O.; SALIU, J. K. Biomonitoring, physico-chemical, and biomarker evaluations of abattoir effluent discharges into the Ogun River from Kara Market, Ogun State, Nigeria, using *Clarias gariepinus*. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 1, p. 44-17, 2019.

OLIVEIRA, M. C. D. **Efeito da aplicação de água residuária de graxaria em elementos químicos do solo e na produção e composição mineral de duas espécies forrageiras**. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/121999>. Acesso em: 15 ago. 2023.

OLIVEIRA, C. S.; SÁ, O. R. Avaliação da eficiência do tratamento de efluentes em abatedouro do município de Passos, MG, Brasil. **Ciência Et Praxis**, v. 8, n. 16, p. 13-20, 2015.

OLIVEIRA, C. S.; COELHO, P.N.; SÁ, O. R. Avaliação da eficiência do tratamento de efluentes em abatedouro do município de Passos, MG, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 4, n. 24, p. 18-27, 2016.

OLIVEIRA, J.F.D. *et al* Performance of tifton 85 grass under fertirrigation with slaughterhousewastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 790-800, 2017a.

OLIVEIRA, J. F. *et al*. Percolate quality in soil cultivated with application of wastewater fromswine slaughterhouse and dairy products. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 6, p. 1222-1235, 2017b.

OLIVEIRA, J. F. D. *et al*. Chemical properties of soil fertirrigated with dairy and slaughterhousewastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 790-800, 2017c.

OMONI, V. T. *et al*. Evaluation of the effects of abattoir effluent on the physicochemical and bacteriological quality of River Benue, Nigeria. **EnvironmentalMonitoring and Assessment**. v. 195, n. 1, p. 146, 2023.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino esuíno)**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/abate.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2023.

PAIVA, C. A. *et al*. Proposição e avaliação de um sistema de tratamento de efluentes de abatedouro de pequeno porte. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., Campina Grande, **Anais** [...], Campina Grande: Congea, 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-013.pdf>. Acesso em: 06 fev.2023.

PAN, M. *et al*. Nitrogen removal from slaughterhouse wastewater through partial nitrification followed by denitrification inintermittently aerated sequencing batch reactors at 11°C. **Environmental Technology**, v. 35, n. 4, p. 470-477, 2014.

PARK, S. *et al*. Effect of hydrothermal pre- treatment (HTP) on poultry slaughterhouse waste (PSW) sludge for the enhancementof the solubilization, physical properties, and biogas production through anaerobic digestion. **Waste Management**, v. 64, p. 327-332, 2017.

PEÑA, M. R.; APONTE, A.; TORO, A. F. Start-up and maturation phases of a full-scale, high-rate anaerobic pond bioreactor® plus improved facultative ponds to treat municipal wastewater. **Water Science and Technology**, v. 71, n. 4, p. 503-510, 2015.

PEREIRA, A. A. S. *et al.* Avaliação da qualidade da água do ribeirão São João, em Campo Belo Minas Gerais, sob interferência do efluente tratado do abate de bovinos e suínos. **Natureza Online**, v.13, n. 3, p. 101-105, 2015.

PEREIRA, E. L.; PAIVA, T. C. B.; SILVA, F. T. Physico-chemical and Ecotoxicological Characterization of Slaughterhouse Wastewater Resulting from Green Line Slaughter. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 199, 2016.

PIRES, J. C. M. *et al.* Wastewater treatment to enhance the economic viability of microalgae culture. **Environmental Science Pollution Research**, v. 20, p. 5096-5105, 2013.

PRADO, M. F. *et al.* Tratamento e destinação de efluentes e resíduos sólidos gerados em abatedouros de Uberlândia/MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30. Uberlândia, **Anais [...]**, Uberlândia: Cercomp, 2019.

RAMOS, M. D. N. *et al.* Análise Crítica das Características de Efluentes Industriais do Setor Têxtil no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 12, p. 913-929, 2020.

RAMOS, M. D. N. *et al.* A critical analysis of the alternative treatments applied to effluents from Brazilian textile industries. **Journal of Water Process Engineering**. v. 43, p. 102273, 2021.

RAMOS, M. D. N. *et al.* Characteristics and treatment of Brazilian pulp and paper mill effluents: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, p. 651, 2022a.

RAMOS, M. D. N. *et al.* Enzymatic catalysis as a tool in biofuels production in Brazil: Current status and perspectives, **Energy for Sustainable Development**. v. 68, p. 103-119, 2022b.

REBOUÇAS, A. S. *et al.* Contexto ambiental e aspectos tecnológicos das graxarias no Brasil para a inserção do pequeno produtor na indústria da carne. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 499-509, 2010.

RIBEIRO, B. G.; GUERRA, J. M.; SARUBBO, L. A. Biosurfactants: production and application prospects in the food industry. **Biotechnology Progress**, v. 36, n. 5, p. e3030, 2020.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Avaliação do reator anaeróbio de manta de lodo no tratamento de efluente de frigorífico. **Boletim Indústria Animal**, v.71, n. 4, p. 365-370, 2014a.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Estudo do comportamento de reator UASB tratando efluentes de abatedouro avícola em escala real. *In*: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12., 2014, Natal, **Anais [...]**, Natal: Researchgat, 2014b. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/276145331\\_Estudo\\_do\\_comportamento\\_do\\_reator\\_UASB\\_tratando\\_efluentes\\_de\\_abatedouro\\_avicola\\_em\\_escal\\_a\\_real](https://www.researchgate.net/publication/276145331_Estudo_do_comportamento_do_reator_UASB_tratando_efluentes_de_abatedouro_avicola_em_escal_a_real). Acesso em: 06 fev. 2023.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Influência da segregação de efluentes no desempenho do tratamento de águas residuárias de frigorífico. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAL*. 4., 2015, Rio de Janeiro, **Anais [...]**, Sigera, 2015. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.35\\_LucianoSantosRodrigues.pdf](http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.35_LucianoSantosRodrigues.pdf). Acesso em: 06 fev. 2023.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Desempenho de reator anaeróbio de chicanas (ABR) na remoção de matéria orgânicas e sólidos em águas residuárias do processamento de pescado. *In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 17., 2016, Florianópolis, **Anais [...]**, Abes, 2016a. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/cgi-sys/suspendedpage.cgi>. Acesso em: 06 fev. 2023.

RODRIGUES, L. S. *et al.* Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio, **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 97-103, 2016b.

SAGHIR, A.; HAJJAR, S. Biological treatment of slaughterhouse wastewater using Up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)-anoxic-aerobic system. **Scientific African**, v. 16, p. e01236, 2022.

SAMPAIO, R. R. *et al.* Tratamento de efluente de frigorífico de pescado utilizando reator anaeróbio compartimentado (ABR). *In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. 12., 2014, Natal, **Anais [...]**, Sibesa, 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/37435244-li-tratamento-de-efluentes-de-frigorifico-de-pescado-utilizando-reator-anaerobio-compartimentado-abr.html>. Acesso em: 05 fev. 2023.

SAMPAIO, R. R. *et al.* Evaluation of the efficiency of anaerobic reactors in the removal of pollutants from fish processing effluents. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, p. 662-670, 2022.

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

SANTOS, C. **Estatística descritiva – manual de autoaprendizagem**. Lisboa: Edições Sílabo, 2007.

SANTOS, T. D. *et al.* Remoção de nitrogênio de efluentes de abatedouro em sistema anaeróbio/aeróbio com e sem recirculação de efluente. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIASANITÁRIA E AMBIENTAL*, 27., Goiânia, **Anais [...]**, Goiânia: Cbesa, 2013. Disponível em: <https://anais.abes-dn.org.br/download.php?idtema=2&idevento=22>. Acesso em: 01 ago. 2023

SANTOS, R. P. *et al.* Emprego de filtro anaeróbio no pós-tratamento de reator UASB tratando efluentes de abatedouro frangos. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAL*, 4., 2015, Rio de Janeiro, **Anais [...]**, Sigera, 2015. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.38\\_RenataPaoliSantos.pdf](http://www.sbera.org.br/4sigera/files/1.38_RenataPaoliSantos.pdf). Acesso em: 06 fev. 2023.

SARMA, H.; BUSTAMANTE, K. L. T.; PRASAD, M. N. V. Biosurfactants for oil recovery from refinery sludge: magnetic nanoparticles assisted purification. **Butterworth-Heinemann**, v. 6, p. 107-132, 2019.

SILVA, F. C. P. *et al.* Oil removal efficiency forecast of a Dissolved Air Flotation (DAF) reduced scale prototype using the dimensionless number of Damköhler. **Journal of Water Process Engineering**, v. 23, p. 45-49, 2018.

SILVA, S. R.; MENDONÇA, A. S. F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos Para a região da grande Vitória-ES. **Revista de engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, p. 213-220, 2003.

SOUSA, S. R. *et al.* Efficiency of the anaerobic baffled reactor followed by anaerobic filter in the removal of nutrients and pathogenic organisms in fish processing effluents. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 74, p. 892-900, 2022.

SPELTA, A. C. F.; RODRIGUES, L. S.; SILVA, I. J. Emprego de reator UASB no tratamento de efluente de frigorífico. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAL, 3., 2013, São Pedro, **Anais** [...], Sigera, 2013. Disponível em: [http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in\\_tec\\_010\\_AnnaSpelta.PDF](http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in_tec_010_AnnaSpelta.PDF). Acesso em: 05 fev. 2023.

TANGO, M. D. **Cultivo de microalgas em efluentes da indústria de beneficiamento de carnes em fotobiorreator do tipo coluna de bolhas**. 2015. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6357/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

TANGO, M. D. *et al.* Microalgae cultivation in agro-industrial effluents for biodiesel application: effects of the availability of nutrients. **Water Science & Technology**, v. 78, n. 1, p. 57-68, 2018.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**, 12<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Artmed, 2016. v.1, n.1.

XIA, Y. *et al.* Anaerobic digestion of chicken feather with swine manure or slaughterhouse sludge for biogas production. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 404-409, 2012.

YOU, N. *et al.* Review and opinions on the research, development and application of microalgae culture technologies for resource recovery from wastewater. **Water**, v. 15, n. 6, p. e1192, 2023

VENUGOPAL, V.; SASIDHARAN, A. Seafood industry effluents: Environmental hazards, treatment and resource recovery. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 2, p. 104758, 2021.

VILVERT, A. J. *et al.* Minimization of energy demand in slaughterhouses: Estimated production of biogas generated from the effluent. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109613, 2020.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. London: ed. IWA Publishing, 2007. v1.

ZABOCHNICKA, M. *et al.* Algal Biomass Utilization toward Circular Economy. **Life**, v. 12, n. 10, p. 1480, 2022.

ZAGKLIS, D. *et al.* Assessing the economic viability of an animal byproduct rendering plant: Case study of a slaughterhouse in Greece. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5870, 2020.

ZIELIŃSKI, M.; KAZIMIEROWICZ, J.; DĘBOWSKI, M. Advantages and Limitations of Anaerobic Wastewater Treatment—Technological Basics, Development Directions, and Technological Innovations. **Energies**, v. 16, n. 1, p. 83, 2023.