



MIRIAN ISABEL DE CARVALHO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE REÚSO DO EFLUENTE
GERADO EM UMA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM
ANIMAL: CASO DA EMPRESA NUTRIBELO**

**LAVRAS - MG
2022**

MIRIAN ISABEL DE CARVALHO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE REÚSO DO EFLUENTE GERADO EM UMA
INDÚSTRIA DE RECICLAGEM ANIMAL: CASO DA EMPRESA NUTRIBELO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Profa. Dra. Paula Peixoto Assemany
Orientadora

**LAVRAS - MG
2022**

MIRIAN ISABEL DE CARVALHO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE REÚSO DO EFLUENTE GERADO EM UMA
INDÚSTRIA DE RECICLAGEM ANIMAL: CASO DA EMPRESA NUTRIBELO**

**STUDY OF THE REUSE POTENTIAL OF EFFLUENT GENERATED IN AN
ANIMAL RECYCLING INDUSTRY: CASE THE COMPANY NUTRIBELO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovado em 20 de abril de 2023.

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Juliano Curi de Siqueira

Profa. Dra. Paula Peixoto Assemany
Orientadora

**LAVRAS - MG
2022**

*À minha Mãe, Francisca que sempre me apoiou, acreditou em mim e me incentivou a
sempre buscar ser a minha melhor versão.
Ao meu Pai, Sebastião por ser exemplo de superação.
Dedico!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me capacitar e pelos milagres em minha vida.

Agradeço a minha família, pelo apoio e pela confiança.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Paula Peixoto Assemany, que mesmo à distância, esteve presente em todos os momentos deste trabalho, tornando-o possível.

Agradeço às mulheres que tanto admiro, Josina Ap. Carvalho, Aline Pereira e Mariana Freitas, por estarem comigo durante esse processo, e acima de tudo por serem inspiração.

Agradeço a toda equipe da ARPA Rio Grande, por serem parte importante deste trabalho.

Agradeço a empresa Nutribelo, por ter aberto as portas para que esse estudo fosse realizado, em especial à Eng. Marciana, ao gerente Denílson e ao Eng. Artur Torres, por todos os esclarecimentos e pela disposição.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Pedro Henrique, por sempre confiar em mim, pelo apoio e pelo incentivo de sempre.

Agradeço a minha amiga, Sabrina, por ter sido companheira ao longo dos 5 anos de graduação e, principalmente, por ter sido incentivadora neste trabalho.

Agradeço a instituição de ensino, UFLA, por abrir as portas para que esse sonho pudesse ser realizado.

RESUMO

O reúso de águas residuárias é uma importante estratégia de gestão de recursos hídricos. É uma técnica relativamente recente no Brasil e, portanto, são encontrados poucos trabalhos e legislações sobre o tema, sendo por vezes necessário consultar exemplos internacionais. Porém, com o aumento dos eventos relacionados à crise hídrica no país, faz-se necessário a adaptação de novas ou já existentes tecnologias. A empresa Nutribelo Indústria e Comércio de Subprodutos Animais Ltda., localizada no município de Campo Belo, em Minas Gerais, tem como foco produtivo a reciclagem de subprodutos animais provenientes de abatedouros, exercendo uma atividade regulamentada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O MAPA exige que o empreendimento possua uma Estação de Tratamento de Efluente (ETE) própria. Diante disso, tendo em vista a eficiência da ETE no tratamento do esgoto, a alta demanda de água no processamento da empresa e a escassez dos recursos hídricos, este trabalho visa realizar um estudo de caso na empresa com relação à aplicação de estratégias de reúso na mesma. Para esse fim, foram utilizadas pesquisas bibliográficas com base em trabalhos semelhantes e em normas nacionais e internacionais, visando trazer exemplos funcionais para uma futura implantação na indústria. Posteriormente, analisou-se as demandas da empresa e o potencial de reúso considerando suas condições atuais, e foram propostas melhorias para que o projeto possa ser executado. Como resultado, obteve-se uma alternativa tecnicamente viável de recuperação do efluente gerado na empresa, que consiste em seu tratamento e posterior aplicação na irrigação de jardins e na lavagem de pisos e pátios. Em suma, foi evidenciado que o reúso dos recursos hídricos seria uma alternativa sustentável e viável para a empresa, com economia mensal de R\$11.034, caso fosse implementado.

Palavra-chave: reúso de efluente, reciclagem animal, economia de água.

ABSTRACT

The reuse of wastewater is an important water resources management strategy. It is a relatively recent technique in Brazil and, therefore, few studies and legislation on the subject are found, and it is sometimes necessary to consult international examples. However, with the increase in events related to the water crisis in the country, it is necessary to adapt new or existing technologies. The company Nutribelo Indústria e Comércio de Subprodutos Animais Ltda., located in the municipality of Campo Belo, in Minas Gerais, has as its productive focus the recycling of animal by-products from slaughterhouses, exercising an activity regulated by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA).). MAPA requires the enterprise to have its own Effluent Treatment Station (ETE). Therefore, in view of the efficiency of the ETE in the treatment of sewage, the high demand for water in the company's processing and the scarcity of water resources, this work aims to carry out a case study in the company regarding the application of reuse strategies in the same. For this purpose, bibliographic research was used based on similar works and national and international standards, aiming to bring functional examples for a future implementation in the industry. Subsequently, the company's demands and the reuse potential were analyzed considering its current conditions, and improvements were proposed so that the project can be executed. As a result, a technically viable alternative was obtained for the recovery of the effluent generated in the company, which consists of its treatment and subsequent application in the irrigation of gardens and in the washing of floors and patios. In short, it was evidenced that the reuse of water resources would be a sustainable and viable alternative for the company, with monthly savings of R\$11,034, if implemented.

Keywords: effluent reuse, animal recycling, water saving.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da água no planeta Terra	13
Figura 2 - Distribuição hídrica no Brasil	13
Figura 3 - Retirada de água no Brasil em 2019	14
Figura 4 - Logística reversa da indústria de reciclagem animal	17
Figura 5 - Localização do empreendimento Nutribelo	27
Figura 6 - Chegada dos subprodutos animais	28
Figura 7 - Digestores térmicos	28
Figura 8 - Caldeira de produção de vapor	29
Figura 9 - Tanque percolador	29
Figura 10 - Ensacamento da farinha	30
Figura 11 - Farinha de sangue	30
Figura 12 - Lagoas de Arrefecimento	31
Figura 13 - Lagoa Anaeróbia	32
Figura 14 - Lagoas aeradas	33
Figura 15 - Flotador físico-químico	34
Figura 16 - Ribeirão São Pedro	34
Figura 17 - Leitos de secagem do lodo	35
Figura 18 - Vista aérea da Estação de Tratamento de Efluentes - ETE Nutribelo	35
Figura 19 - Fluxograma do balanço hídrico	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de análise microbiológica para reúso	21
Tabela 2 - Critérios de qualidade da água de reúso para irrigação agrícola.....	22
Tabela 3 - Padrão de irrigação	23
Tabela 4 - Diretrizes para concentrações de substâncias na água potável do gado	24
Tabela 5 - Consumo de água	38
Tabela 6 - Geração de efluente de cada etapa	40
Tabela 7 - Eficiência da ETE para cada variável de interesse	40
Tabela 8 - Parâmetros de efluentes encontrados na literatura para indústrias semelhantes.....	41
Tabela 9 - Padrão de aplicação do reúso	42
Tabela 10 - Frequência de monitoramento dos parâmetros	43
Tabela 11 - Tarifa de água para indústria	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	12
2.1	Objetivo geral	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	Importância da água e poluição hídrica	12
3.2	Reúso de efluentes	14
3.3	Indústria de reciclagem animal	16
3.4	Legislação relacionada ao reúso de efluentes	18
3.5	Reúso de efluentes provenientes de atividades industriais	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1	Descrição da área de estudo.....	26
4.1.1	Descrição do processamento de subprodutos	26
4.1.2	Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE	30
4.2	Avaliação do efluente e seu potencial de reúso	36
4.3	Proposição de melhoria do tratamento existente para adequação à qualidade exigida pelo reúso.....	37
4.4	Avaliação do ganho econômico com o reúso	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1	Consumo de água na empresa.....	38
5.2	Geração de efluentes na empresa e desempenho da ETE	39
5.3	Proposição de cenário de reúso e complementação do tratamento.....	41
5.4	Estimativa de economia	44
6	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural não renovável de extrema importância para o desenvolvimento humano. Entretanto, sua quantidade disponível no planeta não se altera devido ao ciclo hidrológico, fenômeno que considera alterações apenas no estado físico e na distribuição da água ao redor do mundo. Portanto, com relação à crise hídrica, é importante destacar que apenas a qualidade da água disponível se altera em decorrência da poluição advinda de fontes antrópicas ao longo do tempo, intensificada em função do crescimento populacional e da demanda nos diferentes setores econômicos pela água; a distribuição irregular da população na Terra; e, a distribuição irregular da água no planeta (CHUNYANG HE et al., 2021). Nesse contexto, cada vez mais estudos vêm sendo realizados com o objetivo de propor soluções para melhor utilização deste recurso.

O reúso de águas residuárias tem se apresentado como uma alternativa viável para enfrentamento da escassez hídrica, uma vez que é um importante instrumento de gestão ambiental dos recursos hídricos. Não se sabe quando e onde se iniciou a aplicação de reúso, tendo em vista a existência da classificação de reúso indireto, que consiste na captação de água para abastecimento público e o lançamento de esgoto a jusante do ponto de captação, com posterior reutilização após diluição (MANCUSO, 2003).

De acordo com Moraes (2019), no Brasil, as unidades federativas pioneiras na criação de normas para a aplicação de reúso foram São Paulo e Ceará, sendo elas a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 2017 e a Resolução COEMA nº 02 de 2017, respectivamente (CEARÁ, 2017; SÃO PAULO, 2017). Além disso, a estação de tratamento de esgotos (ETE) da região ABC Paulista no estado de São Paulo é uma referência nacional no quesito reúso, uma vez que transforma os esgotos domésticos em água para reúso em indústrias. As indústrias, em geral, vêm buscando alternativas bem vistas pela sociedade e ambientalmente pertinentes considerando as legislações vigentes, o que contribui para sua adequação ao cenário atual de disponibilidade hídrica (CALDA, 2016).

A indústria de reciclagem animal, por exemplo, demanda o uso de uma grande quantidade de recursos hídricos nos seus processos produtivos, tais como abastecimento de caldeiras, lavagem de pátios e equipamentos, dentre outros, pois, de acordo com as normas do Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA), o ambiente deve ser limpo e desinfetado com frequência. Diante do exposto, o reúso o efluente gerado pelos estabelecimentos de reciclagem animal se torna uma alternativa viável para reduzir o seu consumo de água potável, tendo em vista a alta demanda hídrica e considerando os padrões de potabilidade exigidos para cada atividade dentro desse tipo de indústria.

2 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

2.1 Objetivo geral

Analisar tecnicamente a aplicação de estratégias de reúso do efluente gerado pela empresa de reciclagem animal denominada Nutribelo Indústria e Comércio de Subprodutos Ltda, localizada na cidade de Campo Belo, Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efluente da empresa e seu potencial de reúso;
- Avaliar a eficiência da ETE instalada na empresa;
- Propor melhorias no processo de tratamento de efluentes da empresa para adequar o efluente tratado ao reúso;
- Avaliar o ganho econômico da empresa mediante a aplicação de estratégias de reúso.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância da água e poluição hídrica

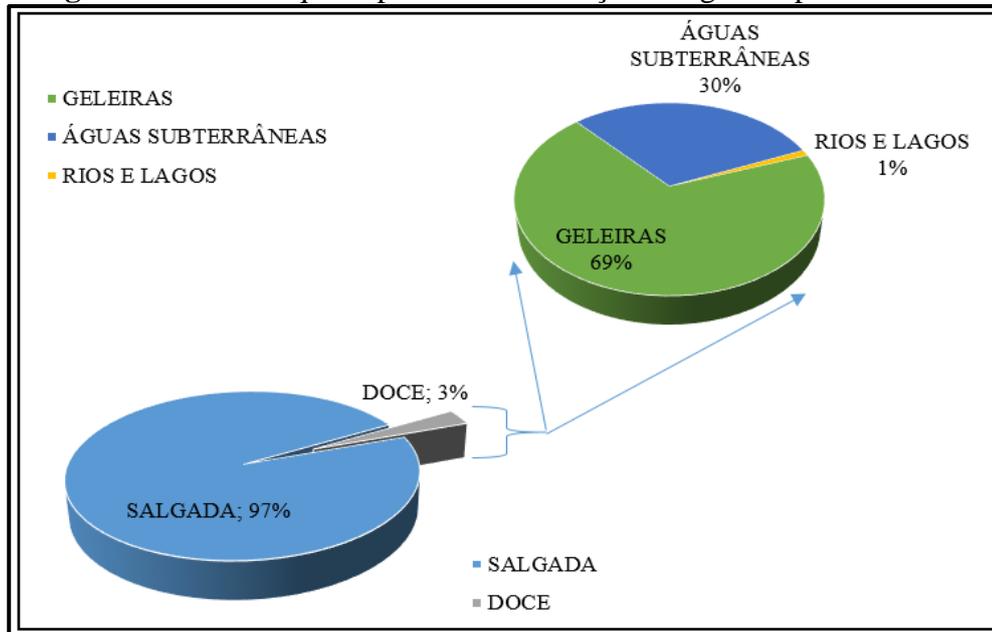
A água é um recurso natural não renovável essencial para a manutenção da vida na Terra e para o desenvolvimento humano. De acordo com a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), cerca de 97% da água no planeta Terra é salgada, não sendo adequada para consumo humano. Além disso, dos cerca de 3% de água doce, aproximadamente 69% são de difícil acesso e extração, por consistirem em geleiras; enquanto os outros 30% são águas subterrâneas, restando cerca de 1% de água doce disponível na superfície (Figura 1).

O Brasil detém cerca de 12% da água disponível no planeta (VIEIRA, 2022), todavia essa água apresenta uma divisão irregular entre as distintas regiões do país, como pode ser observado na Figura 2. Essa irregularidade causa crises hídricas em algumas regiões, sendo comum observar alguns conflitos pelo uso da água em locais onde a crise hídrica é mais evidente.

No Brasil, as principais atividades que demandam a captação da água são a irrigação, responsável por quase 50% das retiradas de água; o consumo humano; e a indústria, que utiliza cerca de 10% da água retirada (Figura 3). O uso da água pode ser considerado consuntivo, onde há a captação da água e sua posterior utilização, como por exemplo a retirada para a irrigação, a utilização na indústria e o abastecimento humano; ou não consuntivo, o qual inclui atividades

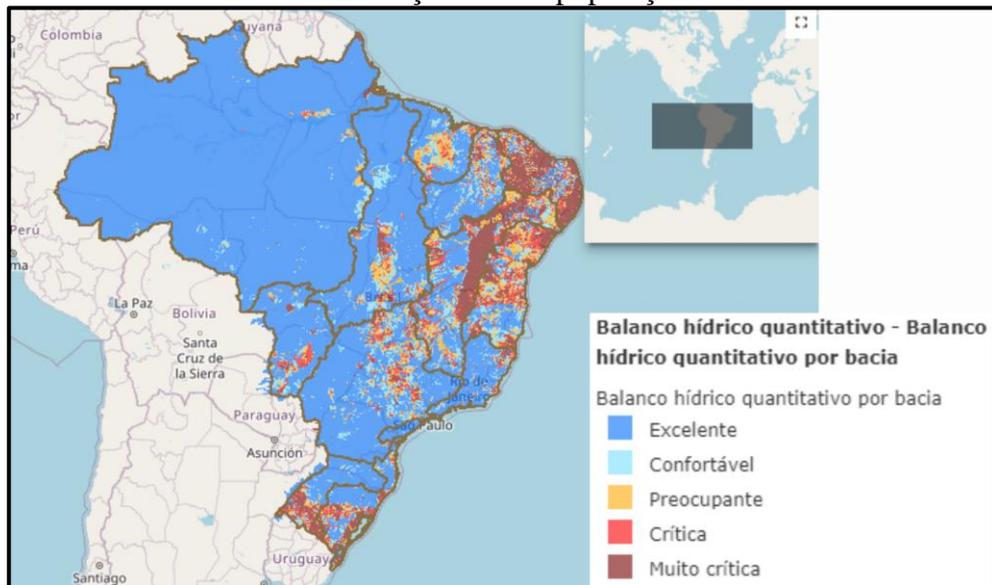
onde a retirada de água não é necessária e se mantêm nas condições naturais, como por exemplo o lazer, a pesca e a navegação (ANA, 2019).

Figura 1 – Gráfico que expressa a distribuição da água no planeta Terra.



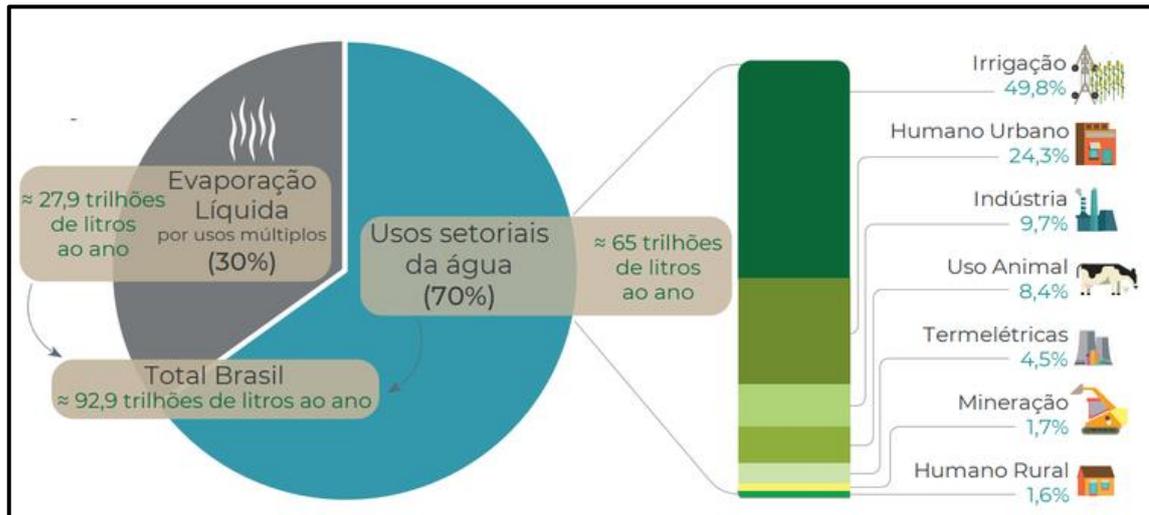
Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Figura 2 – Mapa que representa a distribuição hídrica no Brasil, onde é possível observar a maior concentração onde a população é menor.



Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Figura 3 – Descrição da retirada de água em cada setor que demanda água, no Brasil em 2019.



Fonte: ANA (2019).

De acordo com o relatório disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), cerca de 93,35% da população brasileira é atendida com o abastecimento de água. Contudo, quando se observa as regiões brasileiras isoladamente, nota-se um déficit no Nordeste do país, onde apenas 58,9% da população é atendida. Estima-se que cada habitante do Brasil consuma, em média, 152,13 L/dia de água (SNIS, 2020).

Quando observamos o panorama de esgotamento sanitário no Brasil, observa-se que apenas 79,84% da população é atendida pela coleta de esgoto, e somente 50,75% do esgoto gerado é destinado a uma forma de tratamento adequada. Novamente, a região Nordeste é a mais prejudicada, com apenas 13% da população atendida com tratamento (SNIS, 2020).

Em decorrência dos fatores apresentados, considerando a disponibilidade de água própria para o consumo humano e a quantidade de esgoto sanitário que retorna ao ambiente sem nenhuma forma de tratamento, depara-se, atualmente, com a contaminação de águas que, em um cenário anterior, seriam próprias para o consumo. Todavia, conforme mencionado anteriormente, é importante salientar que a quantidade de água doce disponível no planeta não se altera, sendo a crise hídrica, na maior parte das vezes, decorrente da poluição dos recursos hídricos e das mudanças climáticas que alteram a disponibilidade hídrica em determinada região, interferindo negativamente na qualidade da água adequada para determinados usos.

3.2 Reúso de efluentes

Tendo em vista a crescente demanda por água nas indústrias, na irrigação e no abastecimento humano, o reúso de efluentes constitui uma alternativa importante para reduzir

a quantidade de recursos hídricos retirados da natureza e sua contaminação. Além do mais, alguns usos, tais como lavagem de passeios e descargas de vasos sanitários (que podem ser considerados usos menos nobres, ou seja, que não demandam água potável), podem ser adequados para a utilização de água de reúso, sem grandes riscos sanitários oriundos da prática.

O reúso é definido por Jordão e Pessoa (2014) como sendo a inserção de efluente ou água no aproveitamento do recurso hídrico, em escala macro ou localizada, visando a otimização do aproveitamento. Outra definição, apresentada pela FIESP (2005), define o reúso como “uso de água residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não”.

Os possíveis reúsos para o esgoto doméstico gerado são, de acordo com a Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020 (MINAS GERAIS, 2020):

- **Urbano**

- Reúso urbano para fins potáveis:
 - Adição em reservatórios utilizados para abastecimento;
 - Cano a cano (ETE → Estação de Tratamento de Água - ETA).
- Reúso urbano para fins não potáveis:
 - Proteção contra incêndios;
 - Descarga do banheiro.

- **Industrial**

- Resfriamento;
- Aquecimento/caldeiras;
- Água de processo;
- Matéria prima;
- Construção.

- **Agrossilvipastoril**

- Irrigação de jardins públicos e privados;
- Irrigação de culturas comerciais;
- Irrigação de campos de futebol/golfe;
- Cemitérios;
- Aquicultura.

A seguir, são apresentadas algumas definições, dadas pela FIESP (2005), que serão importantes para o entendimento do presente trabalho:

“Reúso de efluentes tratados: utilização de efluentes que foram submetidos a tratamento.

Reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzido ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Reúso direto de efluentes ou reúso em cascata: efluente originado em um determinado processo que é diretamente utilizado em um processo subsequente.

Reúso doméstico: aproveitamento das águas residuárias residenciais provenientes dos usos domésticos que apresentem pouca matéria orgânica, como banho e higiene pessoal, para atividades de lavanderia, descargas em bacias sanitárias, rega de jardim e outras atividades menos nobres.

Reúso indireto de água: uso de água residuária ou água de qualidade inferior, em sua forma diluída, após lançamento em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos.

Reúso não planejado: uso não deliberado, incidental ou inconsciente, direto ou indireto, de esgoto ou de água de qualidade inferior, recuperados ou não, sem nenhum controle da qualidade da água associado aos usos benéficos correspondentes.

Reúso planejado: uso adequadamente concebido e disciplinado, direto ou indireto, de esgoto ou de água de qualidade inferior recuperados, mantendo-se, permanentemente, o controle da qualidade da água associado aos usos correspondentes.

Reúso potável: uso, direto ou indireto, de esgoto ou de água de qualidade inferior recuperados para abastecimento público.

Reúso potável direto: uso de esgoto ou de água de qualidade inferior recuperados e posterior introdução direta em um sistema de tratamento de água para abastecimento público.

Reúso potável indireto: uso de esgoto ou de água de qualidade inferior para abastecimento público, após a sua recuperação e posterior diluição em um corpo hídrico superficial ou subterrâneo”.

3.3 Indústria de reciclagem animal

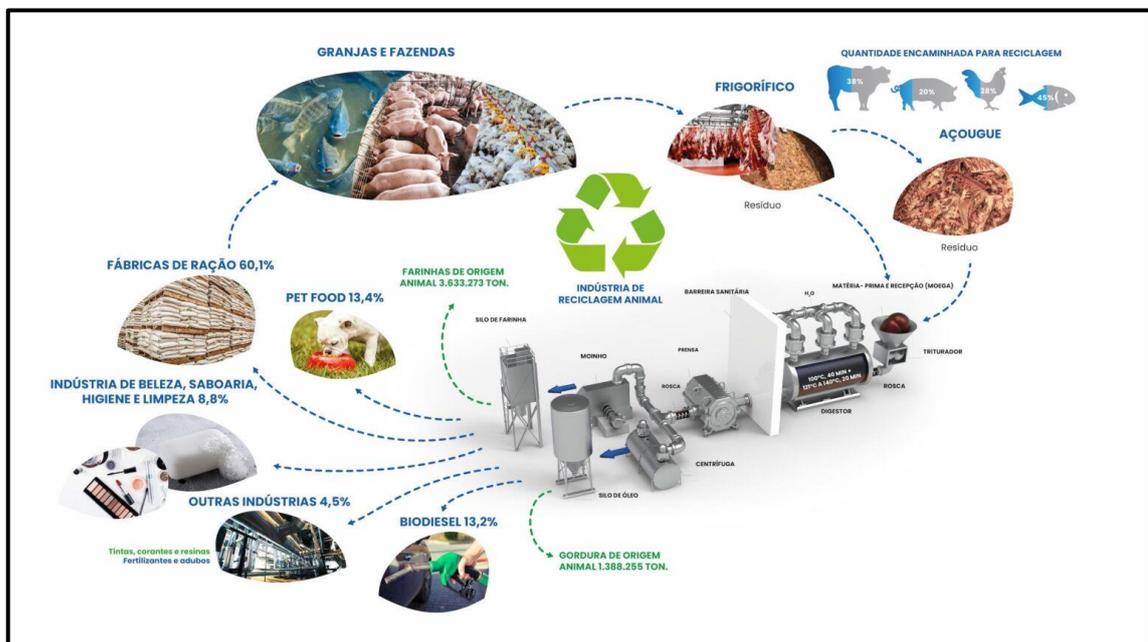
Como resultado do aumento na capacidade produtiva da indústria alimentícia, especificamente do ramo de abate de animais, têm-se um grande incremento na geração de resíduos, tendo em vista que alguns subprodutos, tais como ossos, couro, sebo, dentre outros, são impróprios para consumo humano e, portanto, não podem ser utilizados para alimentação. Entretanto, esses resíduos gerados possuem grande potencial de reaproveitamento na própria cadeia produtiva (SOUZA et al., 2018).

De acordo com a Embrapa (2020), a atividade de reciclagem animal “é o processamento das partes de animais abatidos não adequadas para consumo humano, de modo a transformar estes resíduos em produtos como gorduras e farinhas de carne”. No Brasil, é estimado que cerca de 99% dos resíduos provenientes do abate animal são reciclados, sendo, portanto, a indústria com maior potencial de reaproveitamento. A indústria de reciclagem animal apresentou PIB de R\$8,3 bilhões no ano de 2019, e remove anualmente cerca de 12,5 milhões de toneladas de

resíduos que seriam descartados e causariam riscos sanitários e ambientais. Ao todo, a indústria de reciclagem animal é responsável por cerca de 54 mil empregos diretos (ABRA, 2020).

A indústria de reciclagem animal funciona a partir de uma lógica de logística reversa, na qual os produtos provenientes de frigoríficos, abatedouros, fábricas de embutidos e açougues, são encaminhados à indústria de reciclagem, que os processa e produz, por exemplo, subprodutos como farinha de carne e ossos, farinha de vísceras de aves, farinha de penas, farinha de sangue, farinha de peixes, sebo bovino, graxa branca suína, sebo ovino, gorduras de aves, óleo de peixe, dentre outros. Estes são novamente encaminhados ao mercado de produção de ração, indústria de beleza, saboaria, higiene e limpeza ou até mesmo para granjas e fazendas, conforme esquematizado na Figura 4 (ABRA, 2020).

Figura 4 – Esquemática da Logística reversa que ocorre na indústria de reciclagem animal.



Fonte: Associação Brasileira de Reciclagem Animal – (ABRA, 2020).

O setor de reciclagem animal é regulamentado pelo MAPA, e as regras sobre o recolhimento, transporte, processamento e destinação de animais mortos e resíduos da produção pecuária como alternativa para a sua eliminação nos estabelecimentos rurais são apresentadas na Instrução Normativa nº 48, de 17 de outubro de 2019 (BRASIL, 2019). Além disso, os procedimentos básicos para fabricação de farinhas e produtos gordurosos destinados à alimentação animal e, a critério da Secretaria de Defesa Agropecuária, de outros produtos

derivados, para os estabelecimentos que processam resíduos animais não comestíveis, são apresentados na Instrução Normativa nº 34, de 29 de maio de 2008 (BRASIL, 2008).

3.4 Legislação relacionada ao reúso de efluentes

A Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (BRASIL, 2005), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, define reúso de água como sendo a utilização de água proveniente de efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. E para a água ser considerada de reúso ela deve se encontrar dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, dentre elas, o reúso industrial, reúso urbano, reúso agrícola ou florestal, reúso para fins ambientais ou reúso na aquicultura.

A NBR 13969 de setembro de 1997 (BRASIL, 1997) estabelece as condições para o reúso local do efluente tratado. Nela, são definidos como possíveis usos a irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, a descarga dos vasos sanitários, a manutenção paisagística dos lagos e canais com água, a irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc. Para o planejamento do reúso devem ser estabelecidos:

Para tanto, devem ser definidos:

- a) os usos previstos para esgoto tratado;
- b) volume de esgoto a ser reutilizado;
- c) grau de tratamento necessário;
- d) sistema de reservação e de distribuição;
- e) manual de operação e treinamento dos responsáveis.

Alguns padrões de reúso estabelecidos pela NBR 13969 são:

- **classe 1:** Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
- **classe 2:** lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.
- **classe 3:** reuso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas satisfazem este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção satisfaz a este padrão;
- **classe 4:** reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio

dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Na Deliberação Normativa CERH-MG nº 065 de 18 de junho de 2020 (MINAS GERAIS, 2020), que dispõe sobre diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Em seu 3º artigo, estabelece os possíveis reúsos para esgoto doméstico, sendo eles:

I – Usos em atividades agrossilvopastoril: fertirrigação de culturas não ingeridas cruas, incluindo culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores

II – Usos urbanos:

a) no uso amplo é permitido lavagem de praças, pátios, ruas e avenidas, estacionamentos e outros usos similares em áreas de acesso amplo ao público, além de lavagem de veículos comuns e uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias);

b) no uso limitado é permitido lavagem de veículos especiais (caminhões de coleta e transporte de resíduos sólidos domésticos, coleta seletiva, construção civil, mineração, trens e aviões), controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgoto;

III – Usos para fins ambientais: aplicação de água para reúso em projetos de recuperação florística ou de áreas degradadas, para fertirrigação superficial, localizada ou aspersão, desde que o acesso a estas áreas seja controlado.

IV – Usos industriais: reúso de água em operações e processos industriais, uso na construção civil, mineração, processos de produção e demais atividades em suas expertises;

§1º – As demais práticas e modalidades de reúso, não regulamentadas por esta Deliberação, deverão ser objetos de manifestação do CERH-MG no âmbito de suas competências legais.

§2º – Não é permitida a utilização de água para reúso no processamento e beneficiamento de alimentos.

§3º – No caso da aplicação por aspersão, esta não deverá causar impacto nas áreas do entorno, principalmente quando houver cultivo de espécies vegetais cujo produto alimentício seja ingerido cru ou houver a presença de residências isoladas ou comunidades urbanas.

Para fins de reúso agrossilvopastoril, a norma supracitada, estabelece que para o uso amplo, onde é permitido fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão, o pH deve ser de 6 a 9, coliformes termotolerantes ou E. coli $\leq 1 \times 10^4$ NMP/100 mL e ovos viáveis de helmintos ≤ 1 nº de ovos/L. Para usos limitados onde é permitido apenas fertirrigação superficial ou localizada, evitando-se qualquer contato da água para reúso com o produto alimentício, o pH deve estar entre 6 e 9, coliformes termotolerantes ou E. coli $\leq 1 \times 10^6$ NMP/100 mL e ovos viáveis de helmintos ≤ 1 nº de ovos/L. Para a finalidade de lavagem de

pátio, ruas e avenidas, estacionamentos ou outros com a exposição similar, lavagem de veículos comuns; uso predial comercial ou industrial (restrito a descargas sanitárias), o pH recomendado está entre 6 e 9, coliformes termotolerantes ou *E. coli* $\leq 1 \times 10^3$ NMP/100 mL e ovos variáveis de helmintos ≤ 1 n° de ovos/L (MINAS GERAIS, 2020).

Em 2021, uma nova normativa foi estabelecida com a finalidade de definir critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. A Resolução CONAMA n° 503 define, em seu 2° artigo (BRASIL, 2021):

Art. 2° [...]

IX - reúso: tecnologia que consiste no conjunto de procedimentos e técnicas com a finalidade de promover a reutilização de efluente estabilizado.

Para aplicação de efluentes gerado em graxarias, foco do presente trabalho, estes devem ser estabilizados de acordo com os parâmetros estabelecidos. A mesma lei (BRASIL, 2021) define efluente estabilizado como:

III - efluente estabilizado: efluente que passa por processo de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia ou redução fotossintética, proporcionando a eliminação ou redução de odores, de DBO, de organismos patogênicos e da capacidade de putrefação de matéria orgânica;

Além disso, os efluentes devem seguir o padrão microbiológico, conforme Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Padrões estabelecidos pela CONAMA n°503, para a análise microbiológica da água para o reúso.

Aplicação	Parâmetro	Valor Máximo Permitido (UFC ou NMP/100ml)	Frequência de Monitoramento
Alimentos consumidos crus e cuja parte comestível	<i>E. Coli</i>	1.000	Bimestral
Tenha contato com o solo			
Outras culturas e pastagem	<i>E. Coli</i>	10.000	Trimestral

Fonte: Resolução CONAMA n°503/2021.

No estado do Ceará, no Nordeste do Brasil, a norma que dispõe sobre reúso é a Resolução COEMA n° 2 de 02/02/2017 (BRASIL, 2017), que considera o reúso como prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, estabelece os seguintes padrões para reúso:

Art. 38. O reúso externo de efluentes sanitários para fins urbanos deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

I - Coliformes termotolerantes: até 5000 CT/100 mL.

II - Ovos geohelmintos: até 1 ovo/L de amostra; III - Condutividade elétrica: até 3000 μ S/cm; IV - pH entre 6,0 e 8,5;

Parágrafo único. Para fins de irrigação paisagística, o parâmetro Coliformes termotolerantes deve ser até 1000 CT/100 mL.

Art. 39. O reúso externo de efluentes sanitários para fins agrícolas e florestais deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

I - Coliformes termotolerantes, da seguinte forma:

a) Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: Não Detectado - ND

b) as demais culturas até 1000 CT/100 mL.

I - Ovos de geohelmintos, da seguinte forma:

a) Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação: Não Detectado - ND

b) as demais culturas: até 1 ovo geohelmintos/L de amostra II.

Condutividade elétrica: até 3000 μ S/cm

III. pH entre 6,0 e 8,5

Art. 41. O reúso externo de efluentes sanitários para aquicultura deverá obedecer aos seguintes parâmetros específicos:

I - Coliformes termotolerantes: até 1000 CT/100 mL.

II - Ovos geohelmintos - ND/L de amostra.

III - Condutividade elétrica: até 3000 μ S/cm IV. pH entre 6,0 e 8,0

V - Temperatura: até 40° C

Em relação ao cenário internacional, tem-se o manual Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge, produzido por Alcalde-Sanze Gawlik (2017), que dispõe sobre os padrões para reúso na agricultura, os quais são expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios estabelecidos pelo manual Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge, para a qualidade da água de reúso usada na irrigação agrícola.

Classe da água recuperada	Indicativo Tecnologia Alvo	Critérios de qualidade				Critérios adicionais
		E. coli (ufc/100ml)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/l)	Turbidez (UNT)	
Classe A	Secundário Tratamento, Filtração, e Desinfecção (Avançado Água Tratamentos)	≤10 Ou embaixo Detecção Limite	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: ≤ 1.000 UFC/L quando há risco de aerossolização. Nematóides intestinais (ovos de helmintos): ≤ 1. Ovo/L quando a irrigação de pastagens ou forragem para gado.
Classe B	Secundário Tratamento, e Desinfecção	≤ 100	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	-	
Classe C	Secundário Tratamento, e Desinfecção	≤ 1000	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	-	
Classe D	Secundário Tratamento, e Desinfecção	≤ 10000	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	De acordo com Diretiva 91/271/CEE	-	

Fonte: Alcalde-Sanze Gawlik (2017).

Em 2012, a U.S. Environmental Protection Agency criou o “Guidelines for Water Reuse”, que estabelece os tipos de reúso como sendo:

- **Reúso Urbano:** pode ser aplicado em campo recreativo e irrigação de campos de golfe, irrigação de paisagens e outras aplicações, incluindo proteção contra incêndio e descarga de banheiros;
- **Reúso agrícola:** a irrigação pode ser por aspersão e gotejamento, seguindo as recomendações específicas para cada - os padrões de irrigação estão expressos na Tabela 3 -, conforme a seguir:
 - Dentro do reúso agrícola, tem-se a irrigação de culturas alimentícias, que devem seguir padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS), para reduzir ao máximo os microrganismos presentes na água de reúso;
 - Para o processamento de culturas alimentícias processadas e culturas não alimentares, as exigências de tratamento são menores;
 - Além disso, existe o reúso de água recuperada para pecuária, onde são estabelecidos limites para a reutilização de efluentes na dessedentação do gado, sendo que os limites de concentração de substâncias são estabelecidos na Tabela 4.

- **Reúso em represas:** a água tratada é utilizada visando represamento para fins recreativos e paisagísticos;
- **Reúso ambiental:** inclui principalmente a reutilização em zonas úmidas, como a recarga de aquíferos, sistemas alagados construídos (wetlands), aumento do fluxo de rios e córregos;
- **Reúso industrial:** podem ser utilizados em processos industriais, tais como alimentação de caldeiras e de torres de resfriamento, além de descarga de vasos sanitários e irrigação.

Tabela 3 - Padrão de irrigação.

Potencial Problema de Irrigação		Unidades	Grau de Restrição à Irrigação		
			Nenhum	Leve a moderado	Forte
Salinidade (afeta a disponibilidade de água da cultura)					
Condutividade elétrica da água (CEw)		dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT (sólidos dissolvidos totais)		mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (afeta a taxa de infiltração de água no solo; avaliar usando CEw e RAS juntos)					
RAS (razão de adsorção de sódio)	0 - 3	CEw =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
	3 - 6		> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
	6 - 12		> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
	12 - 20		> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
	20 - 40		> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis)					
Sódio (Na)		-			
Irrigação de superfície		RAS	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão		meq/L	< 3	> 3	
Cloreto (Cl)		-			
Irrigação de superfície		meq/L	< 4	4 - 10	> 10
Irrigação por aspersão		meq/L	< 3	> 3	
Boro (B)		meq/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3
Efeitos diversos (afeta culturas suscetíveis)					
Nitrato (NO ₃ -N)		mg/L	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)		meq/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		-	6,5 - 8,4		

Fonte: *Guidelines for Water Reuse (2012)*.

Tabela 4 - Diretrizes estabelecidas pelo “Guidelines for Water Reuse” para concentrações de substâncias na água potável para dessedentação do gado.

Constituinte (Símbolo)	Concentração (mg/L)
Alumínio (Al)	5,0
Arsênico (As)	0,2
Berílio (Be)	0,1
Boro (B)	5,0
Cádmio (Cd)	0,05
Cromo (Cr)	1,0
Cobalto (Co)	1,0
Cobre (Cu)	0,5
Flúor (F)	2,0
Ferro (Fe)	Não é necessário
Chumbo (Pb)	0,1
Manganês (Mn)	0,05
Mercúrio (Hg)	0,01
Molibdênio (Mo)	0,3
Nitrato + Nitrito (NO ³⁻ -N + NO ²⁻ -N)	100
Nitrito (NO ²⁻ -N)	10,0
Selênio (Se)	0,05
Sódio (Na)	1000 ⁵
Sulfato (como SO ⁴⁻)	1000 ⁵
Vanádio (V)	0,10
Zinco (Zn)	24,0

Fonte: *Guidelines for Water Reuse (2012).*

3.5 Reúso de efluentes provenientes de atividades industriais

De acordo com Jordão e Pessoa (2014), os efluentes industriais possuem como características uma enorme variedade de poluentes, tanto em tipo como em composição, como em volume e concentração. Portanto, águas residuárias gerados em indústrias deve ter tratamento diferenciado de esgotos domésticos antes de sua disposição final no ambiente, respeitando as particularidades de cada setor industrial.

Diante disso, alguns estudos foram realizados em diferentes indústrias, como exemplo do trabalho realizado por Calda (2016), em que foi avaliado o sistema de reúso de efluente gerado na Concessionária de Economia Mista de Saneamento do Governo do Estado de São Paulo e a Odebrecht Ambiental, conhecida como ETE ABC, é considerada a pioneira no reúso de efluente em grande escala no Brasil e uma das maiores do mundo. Ela tem como objetivo, tratar o esgoto doméstico que chega até a ETE ABC, e enviar através de adutora de 17 km para as indústrias. Com vazão média de 2.000 L/s de esgoto, a partir do reúso é possível economizar cerca de 2,58 bilhões de litros de água potável por mês (CALDA, 2016).

No trabalho realizado por Bordonalli e Mendes (2009), foi aplicado o reúso de água em uma empresa de reciclagem de resíduos plásticos, onde aproximadamente 90% da matéria prima é constituída por frascos plásticos pós-consumo, alcançando cerca de 100 a 200 toneladas/mês. Os plásticos utilizados, são resultantes de diferentes coletas, que podem variar entre processos de envase, onde as embalagens chegam sem contaminação externa ou coleta em aterros sanitários, onde se faz necessário uma lavagem mais profunda devido a diversidade de resíduos que pode contaminar a embalagem. Para aplicação de reúso nos processos da empresa, os autores ressaltaram alterações realizadas no sistema de tratamento de águas residuárias, onde os leitos de secagem foram substituídos por big bags, devido aos problemas operacionais relacionados a excessiva presença de sólidos grosseiros e lodos gerados no tratamento desse tipo de efluente e ainda foi implantado sistema de preparação e dosagem de polieletrólito catiônico para auxiliar a floculação e o desaguamento dos lodos gerados, adequando assim o efluente gerado nos processos de lavagem ao reúso (BORDONALLI; MENDES, 2009). A água de reúso foi aplicada nos processos de pré-lavagem (moinho) e lavagem (banheira) dos plásticos em processo de reciclagem, reutilizando 100% do efluente gerado nessas operações, além disso, estimou-se que o capital de R\$74.895, investido no sistema de tratamento de águas residuárias, poderá ser recuperado em um período de 14 meses. Como resultado, obteve-se valores de turbidez, óleos e graxas, com eficiências superiores a 90% e para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e surfactantes eficiências próximas a 60% (BORDONALLI; MENDES, 2009).

Próximo ao reúso de interesse neste trabalho, foi realizado um trabalho por Passini et al. (2021) de aplicação de reúso em abatedouro, em frigorífico de abate de aves. Foi constatado um elevado consumo de água nas atividades de fabricação de gelo, para manutenção da qualidade das carnes e nas práticas de lavagem. Em decorrência do grande consumo de água, a geração de efluentes também é alta. A primeira medida aplicada para redução do consumo de água, foi a prática da Produção Mais Limpa (P+L), coletando separadamente o material orgânico secundário (que não seja produto direto), evitando que se juntem ao efluente líquido, dessa forma, a aplicação do reúso se torna mais acessível, pois reduz a carga orgânica poluidora do efluente. Diante disso, foi proposto pelo trabalho a aplicação da água de reúso em atividades que não demandam água potável dentro da empresa, como a limpeza externa (PASSINI et al., 2021).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

A empresa Nutribelo Indústria e Comércio de Subprodutos Animais Ltda. se localiza no município Campo Belo no sul de Minas Gerais na Rodovia BR 354 km 567, sob as coordenadas centrais de 20°54,18'38''S e 45°15'62''O (Figura 5). Ela emprega aproximadamente 180 funcionários e possui capacidade produtiva de 300 toneladas de subprodutos processados por dia.

Figura 5 - Localização do empreendimento Nutribelo, em relação ao município de Campo Belo – MG, destacado em vermelho.



Fonte: Adaptado de *Google Earth Pro*, 2018.

4.1.1 Descrição do processamento de subprodutos

A matéria-prima utilizada na produção é composta por 4.514 toneladas de subprodutos do abate de bovinos e suínos e 580 toneladas de sangue in natura de bovinos e suínos, para produção de 1.806 toneladas de farinha de carne e ossos, 87 toneladas de farinha de sangue e 900 toneladas de sebo industrial por mês.

O processamento para transformação dos subprodutos em farinhas e sebos consiste, inicialmente, em receber os subprodutos animais provenientes de abatedouros de suínos e bovinos, indústrias de desossa de carnes e açougues, etc., como ossos, vísceras, envoltórios bovinos e suínos, órgãos, e partes de animais impróprias para o consumo humano. O material

chega até a unidade da Nutribelo em veículos de carga com carrocerias metálicas estanques (Figura 6) oriundos dos abatedouros, sendo permitido a utilização desde que não ultrapasse 24 horas do momento do abate. O processamento é realizado de forma distinta entre as partes sólidas e o sangue.

Em seguida, o material é triturado e encaminhado para digestores térmicos (Figura 7), para cozimento do material, em temperaturas entre 90 e 110 °C. A massa é agitada e aquecida via uma camisa de vapor em cada digestor térmico, gerando assim a perda de umidade e reações de quebra das estruturas orgânicas, separando o material proteico das substâncias graxas. O vapor sob pressão é produzido por uma caldeira (Figura 8), o qual utiliza lenha como combustível. O processo demanda um tempo de cerca de 90 a 180 minutos.

Figura 6 - Recebimento dos subprodutos animais provenientes de abatedouros na empresa, passando pela etapa de trituração.



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 7 - Digestores térmicos, etapa onde o material triturado passa por cozimento.



Fonte: Do Autor, 2022.

Logo após, o material resultante dos digestores térmicos, é encaminhado para um tanque percolador (Figura 9), onde ocorre a separação entre o sebo obtido e a torta proteica. A torta proteica é submetida à prensagem e moagem para obtenção da farinha de carne e ossos e, em seguida, ser ensacada. O sebo, por sua vez, passa por operações de desidratação, clarificação e filtração para acondicionamento em tanques.

Figura 8 - Caldeira onde é produzido o vapor para fornecer calor aos digestores térmicos.



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 9 - Tanque percolador, onde são separados o sebo da torta proteica.



Fonte: Nutribelo, 2017.

A farinha de carne e osso é utilizada para formulação de rações de aves e suínos, devido à grande concentração de proteínas, sendo os principais nutrientes da farinha o cálcio (43%) e a proteína (40%). Já o sebo obtido no processamento é encaminhado à fabricação de sabões, produtos de limpeza e para fabricação de biocombustíveis, de acordo com as informações disponibilizadas pela própria empresa.

Figura 10 - Etapa final, onde a farinha é ensacada para envio ao consumidor final.



Fonte: Do Autor, 2022.

Para o processamento do sangue, que ocorre à parte, usa-se um processo de pré-coagulação por aquecimento, onde o subproduto é encaminhado a uma centrífuga para separação do plasma. Após a separação, o material coagulado passa por um processo de secagem. O material seco (Figura 11) representa de 15% a 20% do total, e o resíduo líquido da secagem é encaminhado para a ETE da indústria.

Figura 11 – Armazenamento temporário da farinha produzida a partir do sangue.



Fonte: Do Autor, 2022.

4.1.2 Descrição da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE

A água residuária gerada no processo produtivo da empresa Nutribelo possui um elevado teor de matéria orgânica biodegradável e um alto potencial poluidor. Diante disso, o efluente passa por tratamento para remoção dos poluentes na ETE da própria empresa (Figura 12), com etapas descritas a seguir, até ser lançado no corpo receptor Ribeirão São Pedro.

Na etapa preliminar, o efluente bruto, proveniente da lavagem de veículos, passa pela etapa de **caixa separadora de água e óleo**, que tem a função de remover a gordura não solubilizada e sólidos suspensos leves, que formam uma espuma de aspecto e odor desagradável, evitando, portanto, o entupimento dos encanamentos da ETE e aumentando a eficiência do tratamento biológico. Em seguida, os efluentes provenientes da lavagem de pisos e equipamentos do processo industrial, e do lavador de veículos, após passagem pela caixa separadora de água e óleo, são enviados para um sistema de **gradeamento**, com o objetivo de reter os sólidos grosseiros carreados.

Figura 12 - Vista aérea da Nutribelo, com detalhe para a Estação de Tratamento de Efluentes – ETE, instalada nos fundos do empreendimento.



Fonte: Nutribelo, 2018.

Paralelamente, o efluente gerado na condensação de vapores é enviado para as **Lagoas de Arrefecimento** (Figura 13), onde os despejos provenientes da condensação dos gases gerados pelos processos de cozimento dos subprodutos do abate devem passar por um processo de diminuição da temperatura antes de serem encaminhados aos processos biológicos na lagoa anaeróbia e nas lagoas aeradas. O ideal é que a temperatura do efluente não ultrapasse 36 °C para não prejudicar as etapas de tratamento subsequentes.

Em seguida, esse efluente proveniente das lagoas de arrefecimento é combinado ao efluente proveniente do gradeamento, cuja mistura é encaminhada à **Lagoa Anaeróbia** (Figura 14). Nesse sistema de tratamento não é necessário nenhum tipo de equipamento, havendo somente a existência de condições estritamente anaeróbias. A lagoa anaeróbia opera com o fluxo ascendente a altas taxas orgânicas de aplicação.

Figura 13 - Lagoas de Arrefecimento, onde o efluente da condensação de vapores passa por resfriamento.



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 14 - Lagoa Anaeróbia.



Fonte: Do Autor, 2022.

Posteriormente, o efluente da lagoa anaeróbia é encaminhado para a **Lagoa Aerada** (Figura 15). A complementação do tratamento por lagoa de tratamento aeróbia foi adotada devido a necessidade de remover compostos remanescentes, tais como a matéria orgânica (DBO e DQO), amônia (através da conversão do nitrato) e, eventualmente, nitrato (por conversão a nitrogênio orgânico biológico). A ETE possui duas lagoas aeradas que funcionam com quatro aeradores submersíveis em cada unidade.

Logo após as o sistema de lagoas aeradas, o efluente é encaminhado ao **Flotador físico-químico** (Figura 16). A flotação é um processo unitário onde ocorre a separação de partículas líquidas ou sólidas de uma fase líquida por meio da introdução de pequenas bolhas de gás (geralmente ar) na água residuária. Nessa etapa, o efluente passa por monitoramento JarTeste a cada 30 minutos.

Figura 15 - Lagoas aeradas.



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 16 - Flotador físico-químico.



Fonte: Do Autor, 2022.

Após o tratamento, o efluente líquido é lançado no Ribeirão São Pedro (Figura 17); enquanto o lodo é encaminhado ao leito de secagem (Figura 18), sendo posteriormente vendido para reciclagem em compostagem.

Figura 17 - Ribeirão São Pedro.



Fonte: Do Autor, 2022.

Figura 18 - Leitões de secagem do lodo.



Fonte: Do Autor, 2022.

4.2 Avaliação do efluente e seu potencial de reúso

Em 1º de fevereiro de 2022, foi realizada uma visita técnica nas instalações da empresa Nutribelo, na qual foram apresentadas as etapas do processo produtivo, as instalações da empresa, as etapas da ETE e os dados, como o consumo de água da empresa, vazão de efluente gerado, qualidade do efluente gerado, dentre outros, os quais foram necessários para a confecção deste trabalho.

Os dados foram disponibilizados através de um Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (RADA), confeccionado no ano de 2020, pela empresa Engenho Nove Engenharia Ambiental Ltda., responsável por gerir a ETE da Nutribelo.

Para estimar a eficiência da ETE na remoção de cada parâmetro de interesse, utilizou-se a Equação 1:

$$E (\%) = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, E é a eficiência em porcentagem; C_0 corresponde a concentração inicial em mg/L; C_f a concentração final em mg/L.

Para que fosse possível avaliar o potencial de reúso, realizou-se uma busca na literatura científica relacionada à composição de efluentes oriundos de atividades semelhantes à reciclagem de subproduto animal, devido à ausência de análise de algumas variáveis no monitoramento ambiental da ETE da empresa. As atividades de interesse selecionadas foram oriundas de indústrias como frigoríficos e matadouros, de fabricação de produtos para nutrição animal e de processamento de subprodutos bovinos, entre outras na mesma linha de interesse.

A partir dos valores obtidos, estes foram adotados como base para sugestão de complementação da ETE, conforme abordado no item seguinte.

4.3 Proposição de melhoria do tratamento existente para adequação à qualidade exigida pelo reúso

Para propor unidades complementares ao tratamento de esgoto já existente na empresa, comparou-se os valores obtidos no item anterior, com os valores exigidos por lei, baseando-se como referência a Resolução COEMA nº 02/2017 (CEARÁ, 2017) e a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01/2017 (SÃO PAULO, 2017), considerando os diferentes tipos de reúso possíveis de serem aplicados pela empresa.

Para identificação das possíveis estratégias de reúso dentro da empresa, foram comparados os resultados obtidos com o tratamento do esgoto gerado na ETE da empresa, acrescidos dos valores encontrados na literatura de variáveis não monitoradas, levando em conta atividades semelhantes à reciclagem animal. Além disso, considerou-se as limitações impostas pelo MAPA (2020), chegando, portanto, às atividades de lavagem de pátios, irrigação de jardins e abastecimento de caldeira, como possíveis rotas de aplicação de reúso.

4.4 Avaliação do ganho econômico com o reúso

Para estimar a economia por parte da empresa na aplicação do reúso, levando em consideração que a empresa possui poço artesiano próprio, realizou-se uma pesquisa junto ao Departamento Municipal de Água e Esgoto de Campo Belo/MG (DEMAE).

Nessa pesquisa, encontrou-se o valor cobrado pela tarifa industrial de R\$12,26 para cada m³ de água gasta, considerando que o consumo da empresa está na faixa de 101 – 9999 m³. Portanto, para estimar a economia, com a finalidade de quantificar o reúso, utilizou-se as seguintes equações (Eqs. 2 e 3):

$$\text{Gasto mensal com água} = \text{volume retirado (m}^3\text{)} \times \text{valor da tarifa (R\$)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Na Equação 2, foi estimado qual seria o gasto total baseado no volume de água que é utilizado no ano 2022 pela empresa. Em seguida, aplicou-se o volume de reúso ao último resultado, no sentido de estimar o valor que seria gasto com a água para as atividades onde seria aplicado o reúso, conforme Equação 3.

$$\text{Economia} = \text{volume de reúso (m}^3\text{)} \times \text{valor da tarifa (R\$)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Estimando-se, portanto, a economia que a empresa teria caso utilizasse a água do serviço público.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Consumo de água na empresa

A água utilizada no processo produtivo e nas demais atividades da empresa provém de um poço artesiano com vazão outorgada de 10 m³/dia. O consumo máximo de água na indústria é de 1.352 m³ por mês, dividido entre diversas atividades (Tabela 5), de acordo com a demanda de cada área. No fluxograma representado na Figura 19, pode-se observar o balanço hídrico na empresa.

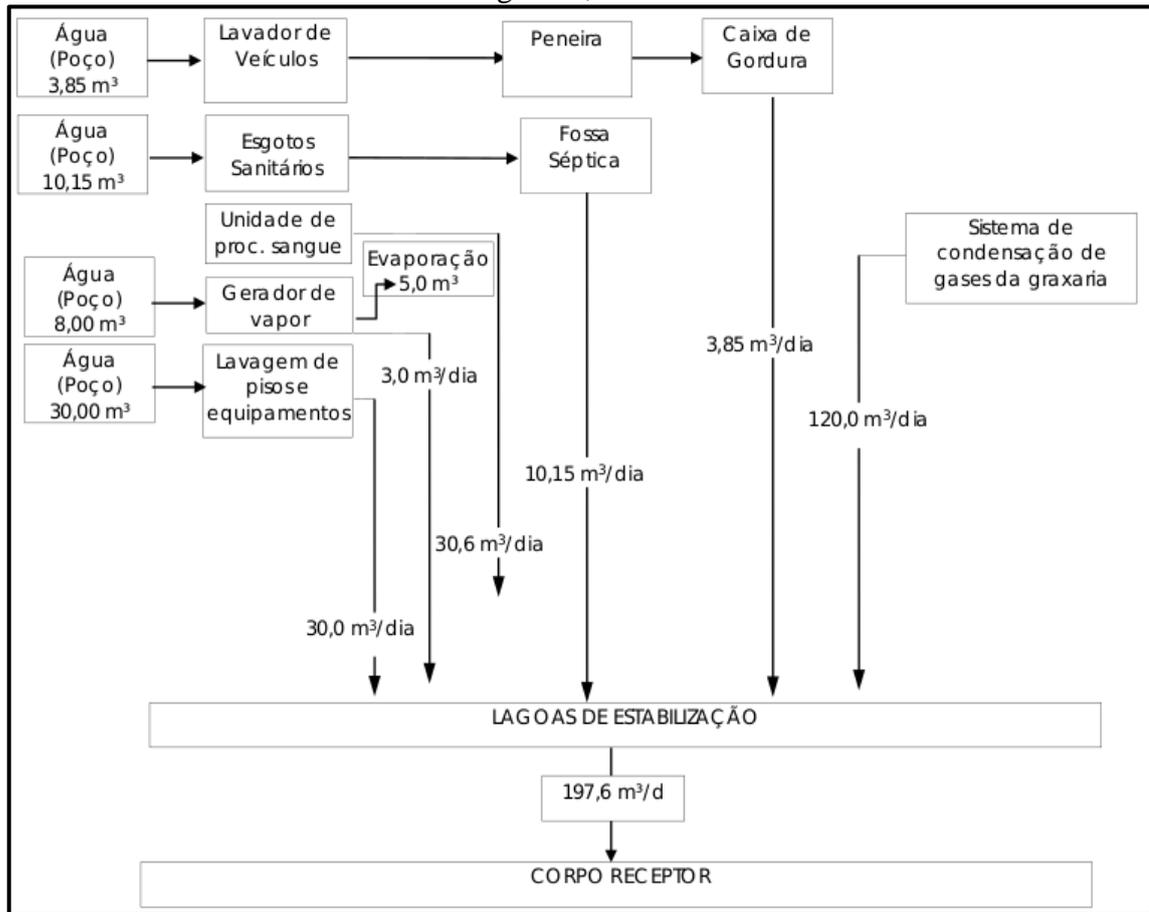
Tabela 5 - Consumo de água da empresa em cada uma das etapas.

Finalidade do consumo	Vazão (m ³ /dia)	
	Máxima	Média
Lavagem de pisos e equipamento	26,00	19,00
Produção de Vapor (Caldeira)	7,00	5,20
Consumo Humano (Sanitários, refeitório, etc)	8,80	8,80
Lavagem de Veículos	3,30	2,30
Total	45,1	35,3

Fonte: Adaptado de Nutribelo (2019).

Na Tabela 5, é possível observar que a maior demanda por água provém da lavagem de pisos e equipamentos. Um importante fator que leva a esse consumo advém da extensão dos pisos e a frequência de lavagem dos equipamentos que deve ser constante, devido a exigência de controle sanitário nos equipamentos. No entanto, apesar de ser a atividade que mais demanda água dentro da empresa, de acordo com a Instrução Normativa nº 48, de 17 de outubro de 2019 (BRASIL, 2019), a água para lavagem dos equipamentos não pode ser oriunda de reúso, uma vez que essas etapas exigem a maior assiduidade possível, de forma a se garantir a segurança sanitária dos produtos.

Figura 19 - Fluxograma do balanço hídrico, desde a retirada da água do poço até o efluente gerado, em m³ ao dia.



Fonte: NutribeLO, 2020.

De acordo com o MAPA, não é possível aplicar o reúso na lavagem de equipamentos, pois a água de lavagem deve possuir elevado grau de pureza. Diante disso, levando em conta o maior consumo de água, e a possibilidade de aplicação de reúso, considerou-se como possíveis atividades aptas para receberem água de reúso, a lavagem de pisos, a caldeira e/ou a lavagem de veículos, conforme possibilidades de remoção de poluentes da ETE, assunto que será discutido no tópico seguinte.

5.2 Geração de efluentes na empresa e desempenho da ETE

A quantidade de efluente gerado por dia em cada atividade da empresa segue as vazões descritas na Tabela 6. Observa-se que a maior geração de efluente deriva-se da condensação de gases, seguida pelo processamento de sangue e lavagem de pisos e equipamentos.

Tabela 6 - Geração de efluente de cada etapa.

Tipo	Origem	Vazão (m ³ /dia)	
		Máxima	Média
Efluente Industrial	Lavagem de Veículos	3,85	2,62
	Processamento do sangue	30,60	18,96
	Caldeira	8,00	6,00
	Lavagem de pisos e equipamentos	30,00	22,00
	Condensação de gases	120,00	69,45
	Total	192,45	119,03
Esgoto Sanitário	Sanitários	10,15	10,15

Fonte: Adaptado de Nutribelo (2019).

Estima-se que são gerados 592,8 kg de DBO/dia e 1.434,6 kg de DQO/dia para cada 0,65 m³/ton processadas diariamente. Por outro lado, no esgoto sanitário gera-se, diariamente, 6,33 kg de DBO para cada 0,07 m³/trabalhador por dia.

As eficiências para cada variável de interesse da ETE estão representadas na Tabela 7. Pode-se observar que as eficiências obtidas na ETE são suficientes para atender aos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), para lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora.

Tabela 7 - Eficiência da ETE para cada variável de interesse.

Variável	Resultados			Eficiência de remoção (%)
	Entrada	Saída	Unidade	
DBO ₅	3799,11	480,00	mg/L	87,37
DQO	6370,40	816,00	mg/L	87,19
Óleos e graxas	131,50	31,00	mg/L	76,43
Sólidos sedimentáveis	11,00	1,00	mg/L	90,91
Sólidos Suspensos	1088,56	76,00	mg/L	93,02
Substâncias tensoativas (ABS)	2,77	1,77	mg/L LAS	36,10
pH	6,99	7,88	-	-
Sulfetos	2,59	0,60	mg/L	76,83
Nitrogênio Amoniacal	212,00	11,04	mg/L	94,79
Temperatura	32,50	23,38	°C	28,06
Sólidos Totais	1100,00	77,00	mg/L	93,00

Fonte: Autoral (2022).

Para aplicação do efluente no reúso, é necessário o monitoramento de outras variáveis, como microrganismos patogênicos (coliformes), nitrogênio, fósforo, dentre outras. Como a empresa não possui monitoramento dessas variáveis, considerou-se alguns valores médios encontrados na literatura, para atividades semelhantes à da indústria de reciclagem animal, como os frigoríficos, empresa de subprodutos animais, e indústria de fabricação de produtos para animais.

Tabela 8 – Valores brutos de variáveis de efluentes encontrados na literatura para indústrias semelhantes.

Parâmetro	Unidades	Valor encontrado	Referência
Alumínio	mg/L	0,63 ¹	DEBUS et al. (2021)
Cor	UNT	1891,17 ¹	DEBUS et al. (2021)
Ferro dissolvido	mg/L	9,38 ¹	DEBUS et al. (2021)
Nitrato	mg/L	48,34 ¹	DEBUS et al. (2021)
Nitrito	mg/L	1,06 ¹	DEBUS et al. (2021)
Turbidez	UNT	7,22 ¹	DEBUS et al. (2021)
Fosfato Total	mg/L	137 ¹	KUROKI et al. (2009)
<i>E. Coli</i>	(UFC 100/ ml)	7,6x10 ¹⁰ ¹	KUROKI et al. (2009)

¹ Valores para efluente bruto. **Fonte:** Autoral, 2022.

5.3 Proposição de cenário de reúso e complementação do tratamento

Na Tabela 9, são comparados valores obtidos na ETE da empresa Nutribelo após o tratamento e valores encontrados na literatura e legislações, com os valores estabelecidos nas referidas fontes, para as diferentes aplicações de reúso. Vale ressaltar que, devido às limitações dos estudos, algumas comparações foram realizadas com base nos valores obtidos na literatura, para efluente bruto.

Apesar de ser a atividade que mais demanda água dentro da empresa, a lavagem de equipamentos e a água utilizada no processamento, não pode ser proveniente de reúso, com base na Instrução Normativa nº 48, de 17 de outubro de 2019 (BRASIL, 2019), pois como mencionado anteriormente, essas etapas exigem a maior assiduidade possível. Dessa forma, optou-se pelas seguintes tipologias de reúso: irrigação dos jardins e lavagem dos pisos externos, porque são as que mais se adequam ao tratamento atual e a complementação que se propõe ao tratamento.

Para que a aplicação do reúso seja efetiva dentro da empresa, é necessário que algumas mudanças sejam realizadas em relação a atual situação da ETE da empresa. Como a empresa não possui remoção de organismos patogênicos, para aplicação do reúso, será necessário

implantar uma unidade complementar a ETE para aplicação de cloro no efluente, visando a inibição dos microrganismos e para agir como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos.

Tabela 9 - Padrão de aplicação do reúso em cada atividade analisada de acordo com as fontes citadas.

Parâmetro	Unidade	Padrão para reúso				
		Irrigação	Lavagem de pisos	Lavagem de veículos	Caldeira	Comparação ETE
DBO ₅	mg/L	-	-	≤ 10 (2)	-	480
DQO	mg/L	-	-	-	5,0 (3)	816,00
Óleos e graxas	mg/L	50 (4)*				
SDT	mg/L	< 450 (2)	< 450(2)	< 450 (2)	500 (3)	-
Turbidez	UNT	≤ 2 (2)	≤ 2(2)	≤ 2(2)		7,22**
Nitrogênio	mg/L	≥ 15 (4)	-	-	0,1 (3)	11,04
Dureza	mg/L	-	-	-	1,0 (3)	-
Alcalinidade	mg/L	-	-	-	100 (3)	-
pH	-	6,0 – 9 (4)	6,0 - 8,5 (1)	6 – 9 (2)	8,2 – 10,0 (3)	7,88
Ferro	mg/L	-	-	-	0,3 (3)	9,38**
Bicarbonato	mg/L	-	-	-	120 (3)	-
E. coli	UFC	10.000	-	-	-	7,6x10 ¹⁰ **
Coliformes Termotolerantes	CT/100 mL	5000 (1)	5000 (1)	Não detectável (2)	-	-
Ovos Helmintos	Ovo/L	< 1	< 1	< 1	-	-
CE	µS/cm	1000 (1)	1000 (1)	< 700 (2)	-	-
RAS	mmolL ⁻¹	15 (1)	15 (1)	< 3	-	-

(1) COEMA nº 2/2017

(2) SES/SMA/SSRH nº 01/2017

(3) KRIEGER, 2007.

(4) CONAMA nº 503/2021

* Para óleos vegetais e gorduras animais

** Valor estipulado com base na literatura, para efluente bruto.

A cloração vem sendo, há muitos anos, a forma mais utilizada para a fase de desinfecção no tratamento de efluentes. Essa estratégia de desinfecção pode funcionar por mecanismo de ação oxidante, destruindo a parede celular ou modificando a permeabilidade da membrana plasmática e tornam as enzimas não funcionais (METCALF; EDDY, 2015).

O cloro é um agente físico de desinfecção, apresentando como propriedades a oxidação direta da parede celular, com liberação do conteúdo da célula para o meio líquido. Além disso, essa substância modifica a permeabilidade da parede celular, altera o protoplasma da célula, inibe a atividade enzimática e causa danos ao DNA e ao RNA. Todavia, o cloro apresenta como desvantagem a corrosão, sendo um fator considerável levando em conta o reúso de efluente de pós-cloração em caldeiras industriais. As vantagens, entretanto, incluem o baixo custo e a alta

disponibilidade do composto no mercado, além de auxiliar na remoção de odores, na inativação de bactérias e vírus, e possibilitar, posteriormente a sua aplicação, a existência de cloro residual de fácil monitoramento. Pode chegar a 99% de eficiência de inativação microbiana a depender do tempo de contato estabelecido (METCALF; EDDY, 2015).

Outra adaptação que deve ser feita na empresa é a implantação de sistema de monitoramento de alguns parâmetros, tendo aqui como base o estabelecido pela Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 01/2017 (SÃO PAULO, 2017), sendo o monitoramento de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 - Frequência de monitoramento.

Frequência	Parâmetro
Diária	pH, Condutividade Elétrica, Turbidez e Cloro Residual Total
Semanal	DBO _{5,20} , Coliforme Termotolerante ou <i>E. coli</i> , Sólidos Dissolvidos Totais e Sólidos Suspensos Totais
Quinzenal	Ovos de Helminhos
Mensal	<i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> , Boro, RAS e Cloreto
Anual	Os demais parâmetros, não relacionados anteriormente, constantes no Artigo 21 da Resolução CONAMA no 430/2011 e no artigo 18 do Regulamento da Lei Estadual no 997/1976, aprovado pelo Decreto Estadual no 8.468/76.

Fonte: Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH n° 01/2017.

Além do monitoramento realizado no efluente, nas etapas de tratamento, é necessário ainda que seja realizado o monitoramento no solo onde será aplicado para irrigação de jardins. Para a fertirrigação, segundo a Resolução CONAMA n° 503/2021 (BRASIL, 2021), a caracterização do efluente deve ser realizada antes da primeira aplicação e, após a aplicação, o monitoramento anual é necessário. Ainda, segundo a mesma norma, em seu III capítulo, Art. 6, determina que:

Da caracterização e monitoramento do solo:

Art. 6° A caracterização do solo deve ser realizada antes da primeira aplicação e, após, anualmente, compreendendo:

I - análise de interesse agrônomo: pH, condutividade elétrica, matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Al, S, Na, B, Cu, Fe, Zn, Mn, H+Al;

II- análise física: teores de areia, argila e silte; e III - ensaio de infiltração de água no solo.

Portanto, para que a aplicação do reuso seja segura, é importante que a empresa mantenha o ambiente onde o efluente é aplicado devidamente monitorado, como descrito, para que haja segurança sanitária para os funcionários e benéfico ao meio ambiente.

Outros fatores importantes a serem levados em consideração são a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e a Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Essas relações determinam o equilíbrio de cátions monovalentes (como sódio) com divalentes (como cálcio e magnésio) e classifica os solos, quanto à sodicidade, em solos sódicos e não-sódicos, respectivamente. Por isso, a caracterização do efluente deve abranger os parâmetros Na, P, K, Ca, Mg e Al. A RAS, para a irrigação e para a lavagem de pisos, deve ser de até 15 mmolc L⁻¹, de acordo com a COEMA nº 02/2017 (CEARÁ, 2017).

Por fim, para determinar a quantidade de água de reúso, que pode ser aplicada no solo, calcula-se a TAE, definida pela CONAMA nº 503/2011 (BRASIL, 2011), como:

Taxa de Aplicação do Efluente (TAE): quantidade de efluente estabilizado (m³) aplicada por unidade de área (hectare) e de tempo (ano), calculada com base nos critérios definidos nesta Resolução.

Nesse contexto, utiliza-se a Equação 4 para estimar qual será a Taxa de Aplicação do Efluente (TAE) para a área onde será destinada à irrigação.

$$TAE = \frac{TNE}{TN \text{ Análise} \times IEAN} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

TAE = Taxa de Aplicação do Efluente (m³/ha.ano);

TN Análise = Teor de Nitrogênio na Análise do Efluente (kg de N/m³ do Efluente); e

IEAN = Índice de Eficiência Agronômica do Nitrogênio (0,80 a 0,92).

5.4 Estimativa de economia

Para fins de estimar uma economia nos gastos da empresa Nutribelo, desconsiderando a origem da água do poço artesiano e supondo que a empresa pagasse pela água que consome, têm-se que, de acordo com a DEMA E Campo Belo/MG, as tarifas apresentadas na Tabela 11, considerando o setor industrial.

Tabela 11 - Tarifa de água aplicada para as indústrias do município de Campo Belo – MG, pelo DEMA E.

Consumo (m ³)	Valor Total (R\$)
0 – 10	89,88
11 – 15	9,03/m ³
16 – 20	10,17/m ³
21 – 30	10,40/m ³
31 – 40	10,80/m ³
41 – 50	10,98/m ³
51 – 100	11,21/m ³
101 - 9999	12,26/m ³

Fonte: Adaptado de DEMA E Campo Belo – MG (2022).

Como o consumo mensal de água da empresa se encaixa na faixa de 101 – 9999 m³, o valor pago para cada m³ seria de R\$12,26.

$$\begin{aligned} \text{Gasto mensal com água} &= \text{volume retirado} \times \text{valor da tarifa} \\ \text{Gasto mensal com água} &= 1.352 \times 12,26 \\ \text{Gasto mensal com água} &= 16.575,52 \end{aligned}$$

No cenário de aplicação de reúso, estima-se que a empresa deixaria de consumir 900 m³ de água todo mês, considerando um valor aproximado de 30 m³, ao dia nas atividades de irrigação dos jardins e lavagem dos pátios, sendo este valor estimado com base no volume utilizado para a irrigação, tendo em vista que a empresa não monitora o consumo em todas as atividades. Gerando uma economia de aproximadamente R\$11.034 ao mês.

$$\begin{aligned} \text{Economia} &= \text{volume de reúso} \times \text{valor da tarifa} \\ \text{Economia} &= 900 \text{ m}^3 \times \text{R\$12,26} \\ \text{Economia} &= \text{R\$11.034,00} \end{aligned}$$

Vale salientar que, atualmente, a empresa não faz uso da água proveniente do abastecimento público, porém, esse tópico se faz importante para quantificar, em valores numéricos e monetários, a importância de aplicar-se o reúso, além do ganho ambiental, considerando que reduzirá a quantidade de água captada e reduzirá o efluente lançado no corpo hídrico.

Além disso, para aplicar o reúso, é necessário que a empresa realize um investimento inicial no tanque de cloração, no monitoramento do esgoto e do solo onde será aplicado o efluente e em tubulações, caso seja necessário para separar a água limpa da água de reúso.

Portanto, a economia estimada refere-se apenas a um valor simbólico de economia, sendo necessário ainda, estimar os gastos iniciais, ressaltando-se ainda que a economia é mensal

e os gastos de implantação são por um curto período, resultando assim em um saldo positivo a longo prazo.

6 CONCLUSÃO

Considerando-se o consumo de água da empresa Nutribelo e a eficiência obtida na sua ETE privada, conclui-se que a aplicação de reúso é viável dentro dos processos da indústria. Contudo, para que seja aplicado, serão necessários a complementação do tratamento atual e o monitoramento dos demais parâmetros físicos, químicos e biológicos da água residuária necessários para a aplicação de efluente no reúso.

Para estimar a viabilidade econômica da aplicação, sugere-se um estudo futuro, avaliando os custos da implementação de unidade complementar para cloração do efluente, acompanhada de monitoramento de variáveis atualmente não avaliadas no efluente tratado, somada aos custos de implementação de canalizações para enviar o efluente da ETE para a unidade onde será aplicado o reúso.

É importante ressaltar que, no Brasil, o reúso de efluentes é uma tecnologia ambiental que vem sendo implantada há pouco tempo. Além das restrições que são exigidas para aplicação, ainda é comum observar estigmas em relação a utilização da água proveniente de esgotos. Outra restrição é em relação à dificuldade encontrada pelas empresas para aplicar o reúso, devido às exigências e o custo inicial de implantação, além do fato da água outorgada não ter valor econômico. Além disso, os estudos já realizados sobre aplicação de reúso em empresas de reciclagem animal são restritos, fazendo com que as comparações deste trabalho sejam limitadas. Diante disso, as legislações existentes para reúso de efluente são escassas, sendo ainda mais deficientes aquelas que apresentam padrões para reúso industrial e para reúso aplicado à indústria de reciclagem animal.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Gestão das águas**. 2022. Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas>. Acesso em 06 de fev. de 2022.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL EUA. **Tópicos de água: água de reúso**. 2022. Disponível em <https://www.epa.gov/environmental-topics/water-topics>. Acesso em 10 de março de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM ANIMAL. **Conheça o Setor**. 2022. Disponível em <https://abra.ind.br/conheca-o-setor/>. Acesso em 10 de fev. de 2022.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **NBR n° 13.969**, setembro de 1997.

BORDONALLI, Angela Cristina Orsi; MENDES, Carlos Gomes da Nave. Reuso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 235-244, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2011. Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 503**, 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. Brasília, DF, 2021. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-conama-n-503-de-14-de-dezembro-de-2021-367783680>. Acesso em 15 de março de 2022.

BRASIL. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH-MG n°65**, 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Belo Horizonte, 2020. Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH-MG n°54**, 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelink.php?numlink=1-173-34-2005-11-28-54>. Acesso em 14 de fevereiro de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n° 34**, 29 de maio de 2008. Define os procedimentos básicos para fabricação de farinhas e produtos gordurosos destinados à alimentação animal e, a critério da Secretaria de Defesa Agropecuária, de outros produtos derivados, para os estabelecimentos que processam resíduos animais não comestíveis. Brasília, DF, 2008 Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos->

[alimentacao-animal/legislacao/instrucao-normativa-no-34-de-28-de-maio-de-2008.pdf/view](#). Acesso em 30 de março de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 48**, 17 de outubro de 2019. Estabelece as regras sobre o recolhimento, transporte, processamento e destinação de animais mortos e resíduos da produção pecuária como alternativa para a sua eliminação nos estabelecimentos rurais. Brasília, DF, 2019. Disponível em <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-48-de-17-de-outubro-de-2019-222639466>. Acesso em 14 de março de 2022.

CALDA, Solange Alves Batista; SAMUDIO, Edgar Manuel Miranda. ÁGUA DE REÚSO PARA FINS INDUSTRIAIS ESTUDO DE CASO. **Brasil Para Todos-Revista Internacional**, v. 3, n. 2, 2016.

CEARÁ. **Resolução COEMA nº 02**, 02 de fev. de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em 02 de março de 2022.

DA SILVA, Júlia Marixara Sousa et al. Uso de enzimas para aumentar a qualidade nutricional de farinhas de origem animal. *PUBVET*, v. 12, p. 133, 2018.

DEBUS, Liane; ZAGONEL, Jéssica Talita; GEREMIAS, Rodrigo. AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETE) DE UMA EMPRESA DE PROCESSAMENTOS DE SUBPRODUTOS BOVINOS. *Anuário Pesquisa e Extensão Unoesc Videira*, v. 6, p. e29754-e29754, 2021.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO CAMPO BELO. **Taxas de água por categoria: Industrial**. 2022. Disponível em <https://demaecb.com.br/index?>. Acesso em 30 de março de 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A indústria de reciclagem animal e sua importância para o setor**. 2020. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53720054/a-industria-da-reciclagem-animal-e-sua-relevancia-para-o-setor-durante-a-crise>. Acesso em 10 de fev. de 2022.

FEDERAÇÃO DA INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Reúso**. 2005. Disponível em <https://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=161985>. Acesso em 09 de março de 2022.

He, C., Liu, Z., Wu, J. *et ai*. Futura escassez global de água urbana e soluções potenciais. *Nat Commun* **12**, 4667 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KRIEGER, Elisabeth Ibi Frimm. Avaliação do consumo de água, racionalização do uso e reúso do efluente líquido de um frigorífico de suínos na busca da sustentabilidade socioambiental da empresa. 2007.

KUROKI, V. et al. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio visando aplicação como fertilizante agrícola. *Annais do I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Uso dos Resíduos da Produção Animal como Fertilizante*, v. 11, 2009.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Reúso de água**. Editora Manole Ltda, 2003.

MATOS, Antonio T. de; ALMEIDA NETO, Onofre B.; MATOS, Mateus P. de. Saturação do complexo de troca de solos oxídicos com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 501-506, 2014.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. McGraw Hill Brasil, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Reciclagem animal**. 2022. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em 22 de fev. de 2022.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. 2019.

PHILIP, A. **Reúso de Água**. 1. ed. Barueri, 2003. *E-book* Disponível em <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=ATxDFRuxlnUC&oi=fnd&pg=PR13&dq=re%C3%BAso+industrial&ots=Kk2SY4Qrc&sig=kaGikNY66kt7eOYwX5soTt9XBE8#v=onepage&q=re%C3%BAso%20industrial&f=false>. Acesso em 02 de março de 2022.

MORAIS, Naassom Wagner Sales; SANTOS, André Bezerra dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. 2019.

PASSINI, Aline Ferrão Custódio et al. PROPOSTA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA A ABATEDOURO VISANDO MELHOR USO DA ÁGUA E REÚSO DE EFLUENTE.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Saneamento**. 2020. Disponível em http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/aguas_pluviais/mapa-aguas-pluviais. Acesso em 10 de fev. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Saneamento**. 2020. Disponível em <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-abastecimento-agua>. Acesso em 10 de fev. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Saneamento**. 2020. Disponível em <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>. Acesso em 10 de fev. 2022.

SOUZA, Carla et al. RECICLAGEM ANIMAL COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL À AGROINDÚSTRIA: UMA REVISÃO DA LITERATURA. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 11, p. 39-53, 2021.

VIEIRA, José Manuel Pereira. **Água e saúde pública**. Edições Sílabo, 2018.