

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA PARA REÚSO NA  
REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS**

Camilla Silva Peres



Camilla Silva Peres

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA PARA REÚSO NA  
REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Julia Ferreira da Silva

Coorientadora: Mônica Maria Ladeia

Montes Claros  
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

### ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos 05 dias do mês de dezembro de 2023, às 14h00min, a estudante CAMILLA SILVA PERES, matrícula 2018042402, defendeu o Trabalho intitulado "AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA PARA REÚSO NA REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS" tendo obtido a média ( 100,0 ) .

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

**Nota:** 100,0 (Cem)

**Orientador(a):**Júlia Ferreira da Silva

**Nota:** 100,0 (Cem)

**Coorientador(a), se houver:**Mônica Maria Ladeia

**Nota:** 100,0 (Cem)

**Examinador(a):** Flávio Pimenta de Figueiredo

**Nota:** 100,0 (Cem)

**Examinador(a):**Luiz Henrique de Souza



Documento assinado eletronicamente por **Julia Ferreira da Silva, Professora do Magistério Superior**, em 06/12/2023, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Henrique de Souza, Professor do Magistério Superior**, em 07/12/2023, às 08:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Monica Maria Ladeia, Usuária Externa**, em 07/12/2023, às 14:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Pimenta de Figueiredo, Professor do Magistério Superior**, em 12/12/2023, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2877058** e o código CRC **D99BA975**.

---

**Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.**

## AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, discernimento e pela força de não me deixar desanimar diante das inseguranças nessa caminhada.

Aos meus pais Carlos e Maria Geralda por todo amor, exemplo e toda dedicação em lutar comigo por meus sonhos e não medir esforços para realizá-los. As minhas irmãs Daniella e Isabella, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e pelas palavras certas quando precisei. Aos meus sobrinhos Gustavo, Davi e Esther pela leveza e alegria em minha vida.

Aos meus familiares, em especial, minha avó Olívia, minha madrinha Eliane, que nunca deixaram de acreditar em mim e por apoiarem sempre. Ao meu padrinho Márcio e sua empresa Vida Meio Ambiente, que estiveram presente durante minha formação com ensinamentos da área profissional e pessoal.

A minha amiga/irmã Sarah, que sempre esteve presente para vibrar e apoiar minhas conquistas.

À professora Julia Ferreira da Silva, por ter sido minha orientadora e ter exercido esse papel com paciência e dedicação.

Aos meus colegas/amigos de graduação, em especial, Karla, Matheus, Kaio e Giovana, que me acompanharam e compartilharam momentos difíceis do curso, mas também momentos de alegria durante os últimos anos. À Laís, pela parceria na universidade, no estágio e na vida, pois sempre acompanhou meus surtos e minha ansiedade pela formação.

Agradecimento especial aos colegas da COPASA, onde estagiei por dois anos e adquiri conhecimentos e troca de experiências que agregaram na minha formação. Com isso, tive a oportunidade de realizar este trabalho na área. À minha supervisora de estágio e coorientadora Mônica Ladeia, que sempre esteve disponível para ensinar e tanto auxiliou na execução deste trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG e à FUMP por terem me dado toda estrutura necessária para conclusão do curso. Aos professores, que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e desenvolvimento profissional. Em especial, ao professor Flávio Pimenta pelas oportunidades e pelo apoio.

O meu muito obrigada a todos que torceram por essa conquista!

# AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA PARA REÚSO NA REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS

## RESUMO

**Objetivo:** O trabalho tem como objetivo analisar a qualidade dos efluentes tratados em três Estações de Tratamento de Esgoto – ETE no Norte de Minas Gerais, avaliando propostas e potencialidades para seu reúso.

**Referencial teórico:** A prática de reúso dos efluentes sanitários possui grande relevância tanto economicamente quanto ambientalmente, por economizar recursos hídricos destinados a fins mais nobres, uma vez que os efluentes, quando avaliados e dentro das normativas, são potenciais fontes de água para se utilizar na agricultura e na irrigação de praças. O reúso de efluentes tratados torna-se uma tendência por ser uma alternativa para suprir demandas hídricas que possam ser atendidas com águas de qualidade inferior.

**Método:** O estudo foi desenvolvido com o levantamento das análises laboratoriais de três Estações de Tratamento de Esgoto da COPASA MG, denominadas ETE I, ETE II e ETE III, realizadas no período de janeiro de 2021 a setembro de 2022, para o monitoramento e a avaliação de parâmetros considerados importantes para o reúso de efluentes como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Condutividade Elétrica (CE), Potencial Hidrogeniônico (pH), *Escherichia coli*, Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e ovos viáveis de helmintos. Foram avaliadas as viabilidades de aplicações de propostas de reúso de água, perante análise da qualidade dos efluentes tratados das três ETE, visto que os tratamentos realizados nessas estações atenderam tanto às condições e aos padrões de lançamento de efluentes da Deliberação Normativa Conjunta COPAM e CERH-MG n° 01 de 05 de maio de 2008 (Minas Gerais, 2008), como também aos parâmetros para o reúso da Deliberação Normativa CERH-MG n° 65/2020 de 18 de junho de 2020 (CERH- MG, 2020).

**Resultados e Conclusão:** Os resultados mostraram que os efluentes tratados nas ETE estudadas permitem a prática de reúso, com possíveis ações corretivas dos parâmetros não conformes, para implantação de reúso em irrigação de praças nas cidades, em convênio com as prefeituras, e, ainda, irrigação interna de empreendimentos interessados.

**Implicações da Pesquisa:** A abordagem é de grande relevância para debater e ampliar as práticas de reúso e promover questionamentos para regulamentação, por meio de leis, normas e deliberações.

**Originalidade:** O trabalho possui originalidade em decorrência do levantamento realizado sobre o tema, com a finalidade de se garantir uma fonte potencial de reúso de água para aplicações em regiões com déficit hídrico, como o norte de Minas Gerais. Trata-se de um tema inovador, de pouca discussão nos periódicos, que cada vez mais tem ganhado espaço nos debates ambientais, devido ao potencial dos efluentes no uso agrícola, por exemplo.

**Palavras-chave:** Efluente Sanitário, Escassez Hídrica, Reutilização de Água, Tratamento de Esgotos.

# EVALUATION OF TREATED WASTEWATER QUALITY FOR REUSE IN THE NORTHERN REGION OF MINAS GERAIS

## ABSTRACT

**Objective:** This study aims to analyze the quality of effluents treated at three Wastewater Treatment Plants (WWTPs) in the northern region of Minas Gerais, evaluating reuse potential and proposals.

**Theoretical framework:** The practice of reusing sanitary effluents holds significant economic and environmental importance. It conserves water resources allocated for higher priority uses. When assessed and compliant with regulations, effluents become potential water sources for agriculture and urban squares. The trend towards reusing treated effluents presents an alternative to meet water demands that could be satisfied with lower-quality water.

**Method:** The study conducted laboratory analyses of three COPASA MG sewage treatment plants, referred to as WWTPs I, II, and III, between January 2021 and September 2022. Parameters crucial for effluent reuse, including Biochemical Oxygen Demand (BOD), Electrical Conductivity (EC), Hydrogen Potential (pH), *Escherichia coli*, Sodium Adsorption Ratio (SAR), and viable helminth eggs, were monitored and evaluated. The feasibility of proposed water reuse methods was assessed by analyzing the quality of treated effluents from the three WWTPs, considering that the treatments adhered to the conditions and effluent discharge standards outlined in Joint Normative Decision COPAM and CERH-MG No. 01 of May 5, 2008 (Minas Gerais, 2008), as well as the reuse parameters defined in Normative Decision CERH-MG No. 65/2020 of June 18, 2020 (CERH-MG, 2020).

**Results and Conclusion:** The findings indicate that the effluents treated in the studied WWTPs are suitable for reuse, with potential corrective measures for non-compliant parameters. This allows for irrigation of urban squares, subject to approval by local authorities, and internal irrigation within interested businesses.

**Research Implications:** This approach is highly relevant for fostering discussions on expanding reuse practices and shaping regulations through legislation, norms, and deliberations.

**Originality:** This study stands out due to its in-depth investigation, ensuring a viable water reuse source for localities facing water scarcity, particularly in the northern region of Minas Gerais. This innovative topic, though less explored in literature, is gaining momentum in environmental discourse, thanks to the potential of effluents for agricultural purposes.

**Keywords:** Sanitary Effluent, Water Scarcity, Water Reuse, Sewage Treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Norte de Minas Gerais, a redução do índice pluviométrico e a má distribuição de recursos hídricos geram impactos na disponibilidade hídrica, chegando a causar escassez de água em diversas localidades.

Diante desse cenário, a busca por alternativas de enfrentamento da crise hídrica tem levado em debate a necessidade de ser adotadas medidas de reaproveitamento e reúso de água, para que se destine para fins menos nobres – reúso urbano, agrícola e florestal, ambiental, industrial e aquicultura - águas de qualidades inferiores como os efluentes do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES).

A substituição de fontes hídricas pelo reúso para atender a grande demanda populacional, industrial e agrícola torna-se uma alternativa para a falta de água nas regiões áridas e semiáridas que sofrem com a irregularidade e falta de chuva. As águas de qualidade inferior, como o efluente tratado, podem ser consideradas uma opção para usos menos restritos, o que reduz o intenso consumo das águas de melhor qualidade, que podem ser destinadas para usos mais nobres como o abastecimento doméstico (Hespanhol, 2002).

Dantas e Sales (2009) consideram que a recuperação das águas poluídas como os efluentes das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) é uma opção para reverter o cenário de escassez com a prática de reúso. No entanto, destacam que é necessário um compromisso social, jurídico e ambiental na abordagem do tema, de maneira que se leve em consideração as propriedades de cada água utilizada e a finalidade específica de cada reúso, a fim de economizar águas de qualidades superiores para usos mais nobres.

A ETE é responsável por minimizar os impactos dos lançamentos de efluentes nos cursos d'água. Entretanto, mesmo seguindo o padrão de lançamento das legislações vigentes, esses sistemas não removem totalmente as substâncias poluidoras, mas deve-se salientar que o lançamento de efluente tratado nos rios é responsável, em muitos casos, pela manutenção da vazão e pela oferta de água nas regiões que sofrem com a seca.

Autores como Florencio, Bastos e Aisse (2006) e Asano (2002) afirmam que o reúso do efluente implica o alívio da demanda e da oferta de água para usos múltiplos; economia no uso de insumos e fertilizantes ao se destinar para agricultura; além da redução da vazão destinada para o lançamento em corpos receptores.

Ao se utilizar o efluente tratado na fertirrigação, poderá ser reduzido o número de poços abertos para atender a demanda hídrica na agricultura, pois, segundo a ANA (2021), a irrigação é responsável por captar cerca de 50% do volume de água dos mananciais do Brasil.

Com a utilização do efluente tratado evita-se também a necessidade do uso de insumos agrícolas principalmente em um contexto em que se tem o aumento de mais de 50% nos preços dos adubos no Brasil, em decorrência da guerra entre a Rússia e a Ucrânia (Duarte, 2022). Considerando que o potencial agrônômico dos efluentes para o crescimento das plantas está nas quantidades de nutrientes presentes em sua composição química, como os macronutrientes potássio, fósforo e nitrogênio (Nichelle, 2009).

Em função das características da região e de pesquisas que estão sendo desenvolvidas, objetivando fornecer nutrientes e suprir a necessidade hídrica para as culturas, por meio da fertirrigação com o efluente tratado, o presente trabalho visa avaliar a potencialidade dos efluentes das ETE estudadas e apresentar alternativas para o reúso, quando reaproveitados de forma segura e eficaz.

## **2 REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

A nível internacional, a primeira lei de reúso de águas em áreas agrícolas surgiu, em 1918, na Califórnia e atualmente, os Estados Unidos contam com uma regulamentação em todo o seu território conhecido com USEPA - Guidelines for Water Reuse, que dependendo dos Estados possuem os seus próprios regulamentos sobre a temática (Obraczka *et al.*, 2019).

Os EUA são considerados um dos maiores usuários de água recuperada no mundo, cerca de mais de 6 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de água em 2018, o país só não é o maior usuário, porque a China utilizou mais de 7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano em 2017 (CEBDS, 2022).

Ainda no tocante internacional, Israel é considerado uma referência no tratamento e reúso de águas tratadas, uma vez que mesmo com a realidade do país, construído no conceito de escassez de água, quase 100% do seu esgoto é tratado e 90% desse esgoto é reutilizado, sendo quase metade destinado à demanda de água necessária do setor agrícola (Santos *et al.*, 2021). O país possui rede de ductos com águas recuperadas que irrigam mais da metade da agricultura no Deserto de Negev, por exemplo (Digital Water, 2020).

O Brasil não dispõe de legislações federais que regulamentem o reúso de água residuária. O que se tem são deliberações normativas e resoluções estaduais. A primeira publicação sobre o reúso de efluentes de estações de tratamentos foi na norma brasileira NBR

13.969 de 30 de outubro de 1997 nomeada de “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação” (ABNT, 1997). Essa Norma Brasileira foi importante para inserção da discussão sobre o reúso.

Em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou a Resolução CNRH n° 54 de 28 de novembro de 2005, que regula e estimula a prática de reúso direto não potável de água, porém não define padrões de qualidade (Brasil, 2005). Anos mais tarde, em 2011, o padrão de lançamento de efluentes foi publicado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução n°430 de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011).

Poucos Estados possuem leis estaduais que consideram práticas de reúso de água residuária em suas atividades, dentre eles: Bahia, São Paulo, Ceará, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, que contam com documentos reguladores que estabelecem padrões e critérios de reúso de acordo com a destinação e a demanda necessária (Santos *et al.*, 2020).

Com a publicação, em Minas Gerais, da Deliberação Normativa CERH-MG n° 65/2020 (CERH- MG, 2020), que estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável dos efluentes da ETE, o reúso pode se tornar uma importante opção para a fertirrigação, com um manejo adequado capaz de atender as necessidades nutricionais e hídricas da espécie vegetal, em regiões com escassez hídrica.

No dia 20 de outubro de 2022, esteve em consulta pública uma Minuta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos<sup>1</sup> que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Dentre as informações do documento, inclui que as modalidades de reúso de água podem ser realizadas simultaneamente em uma mesma área, ou seja, uma modalidade não exclui a outra em suas aplicações desde que se preserve a saúde humana e o meio ambiente.

Segundo informações divulgadas pela Universidade de São Paulo, em estudos realizados pelo Núcleo de Pesquisa, o reúso de esgoto tratado na agricultura aumentou a produtividade das plantações em 6 toneladas por hectare ao ano, em média, em comparação às áreas irrigadas de maneira comum. Além disso, houve economia de quase 80% de fertilizantes nitrogenados (Reis, 2015).

Para Santos e Cândido (2013), a agricultura é responsável por alimentar o mundo e possui dependência de recursos naturais para suprir as demandas da população. Com isso, os

---

<sup>1</sup> Governo Federal - Participa + Brasil - Minuta de Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.gov.br/participamaisbrasil/resolucao-do-cnrh-reuso-nao-potavel>> Acesso em : 02 fev 2023.

autores ressaltam que as atividades agrícolas exercem grande pressão ao meio ambiente principalmente ao se fazer o uso inadequado dos recursos naturais, como os recursos hídricos, que podem intensificar a degradação ambiental.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Em função da escassez hídrica da região Norte de Minas, das intermitências dos rios e da necessidade de uso adequado do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos, o estudo foi conduzido em três etapas:

#### **3.1 Etapa Um – Levantamento Bibliográfico**

Verificaram-se os avanços obtidos sobre a discussão da temática no que diz respeito às normativas e legislações e à potencialidade do reúso de efluente no contexto mundial e no Brasil, buscando informações na literatura, em artigos científicos e materiais complementares. Essa etapa foi de fundamental importância na avaliação das propostas de reúso implantadas nas ETE.

#### **3.2 Etapa Dois – Análise dos dados dos efluentes tratados em três ETE para viabilidade do reúso.**

Para realização deste trabalho foram utilizados os dados dos resultados das análises dos efluentes nas saídas do tratamento das ETE de três cidades do Norte de Minas, no período de janeiro de 2021 a setembro de 2022, em atendimento às condições e ao padrão de lançamento de efluentes estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM e CERH-MG nº 01 de 05 de maio de 2008 (Minas Gerais, 2008), além do atendimento aos parâmetros específicos para o reúso, considerando a DN CERH nº 65 de 18 de junho de 2020.

##### **3.2.1 Unidades de estudo.**

O estudo foi desenvolvido em Estações de Tratamento de Efluentes - ETE de três cidades do Norte de Minas, que utilizam diferentes processos biológicos de tratamento.

A ETE I (Figura 1) tem capacidade de  $750 \text{ L s}^{-1}$ , vazão média anual em 2021 de  $432,25 \text{ L s}^{-1}$ , conta com tratamento preliminar (gradeamento, peneiramento e desarenador); tratamento

secundário com 12 reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), 6 filtros biológicos percoladores e 6 decantadores secundários. A unidade possui sistemas de desidratação do lodo com 7 leitos de secagem, centrífugas, secador térmico e 2 valas de aterro sanitário. Os gases provenientes do UASB são armazenados no gasômetro e utilizados no secador térmico.



**Figura 1.** Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA no Norte de Minas (ETE I)  
**Fonte:** Arquivos Copasa, 2022.

A ETE II (Figura 2) possui vazão nominal de  $49,3 \text{ L s}^{-1}$  e vazão média anual em 2021 de  $22,73 \text{ L s}^{-1}$ . O efluente recebe tratamento preliminar (gradeamento e desarenador); tratamento secundário, com dois reatores UASB, uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação; e disposição final do efluente em solo, por meio da infiltração em capineiras. O sistema conta com queimador de biogás e oito leitos de secagem.



**Figura 2.** Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA no Norte de Minas (ETE II)  
**Fonte:** Google Earth, 2022.

A ETE III (Figura 3) opera com tratamento preliminar (gradeamento e desarenador); tratamento secundário com dois reatores UASB, uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, sendo a vazão nominal de  $35 \text{ L s}^{-1}$  e vazão média anual, em 2021, de  $10,97 \text{ L s}^{-1}$ .



**Figura 3.** Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA no Norte de Minas (ETE-III)  
**Fonte:** Google Earth, 2022.

### 3.2.2 Parâmetros de monitoramento

Os parâmetros utilizados para o monitoramento e a avaliação das ETE foram: *Escherichia coli*, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total, Nitrato e Nitrogênio Amoniacal. As coletas e ensaios foram realizados conforme metodologias propostas pelo *Standard Methods* (APHA, 2017).

Para a avaliação do reúso foram analisados os parâmetros *E. coli*, pH e Condutividade Elétrica. Os parâmetros avaliados de Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e ovos viáveis de helmintos foram realizados em laboratório terceirizado.

### 3.3 Etapa Três - Avaliação de proposta para reúso

As propostas de reúso foram implantadas e avaliadas em função da qualidade do efluente tratado, da localização da unidade, da área disponível, da demanda de mercado, das exigências nutricionais e características das plantas e do solo.

## 4 RESULTADOS

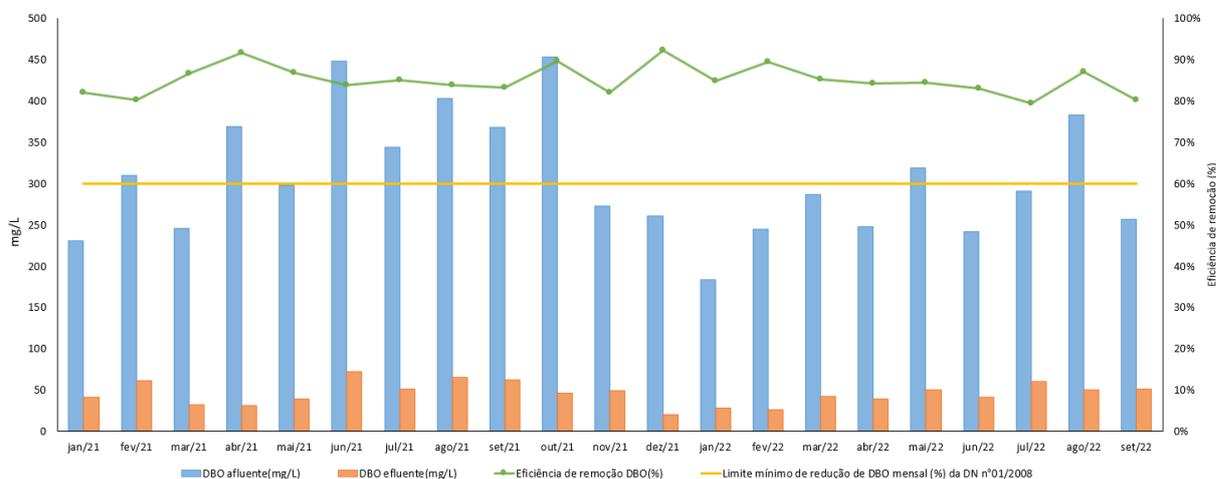
Os efluentes, tratados por tecnologias adequadas, apresentaram eficiências médias, em DBO, no período do janeiro de 2021 a setembro de 2022, para as ETE I, II e III de 84,99; 86,98 e 77,70 %, respectivamente. Os resultados de DBO mensal e anual foram superiores a 60 % e 70 %, respectivamente, e os demais parâmetros estabelecidos pela DN nº 01/2008 foram atendidos, mostrando ser possível o reúso desse efluente tratado.

### 4.1 Qualidade dos efluentes tratados

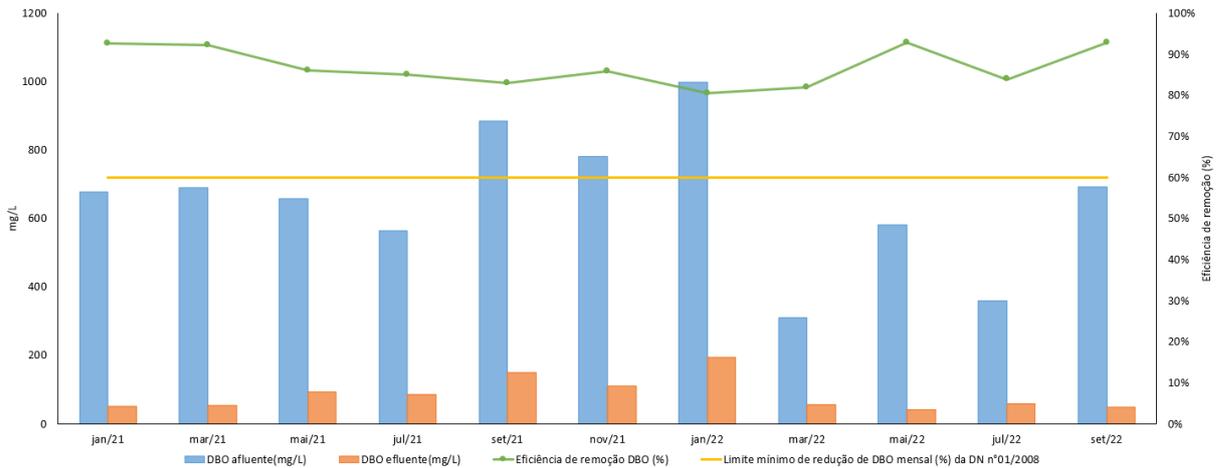
A qualidade dos efluentes foi avaliada de acordo com os parâmetros DBO, Fósforo Total, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal, *E. coli*, pH e Condutividade Elétrica; Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e ovos viáveis de helmintos.

#### 4.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

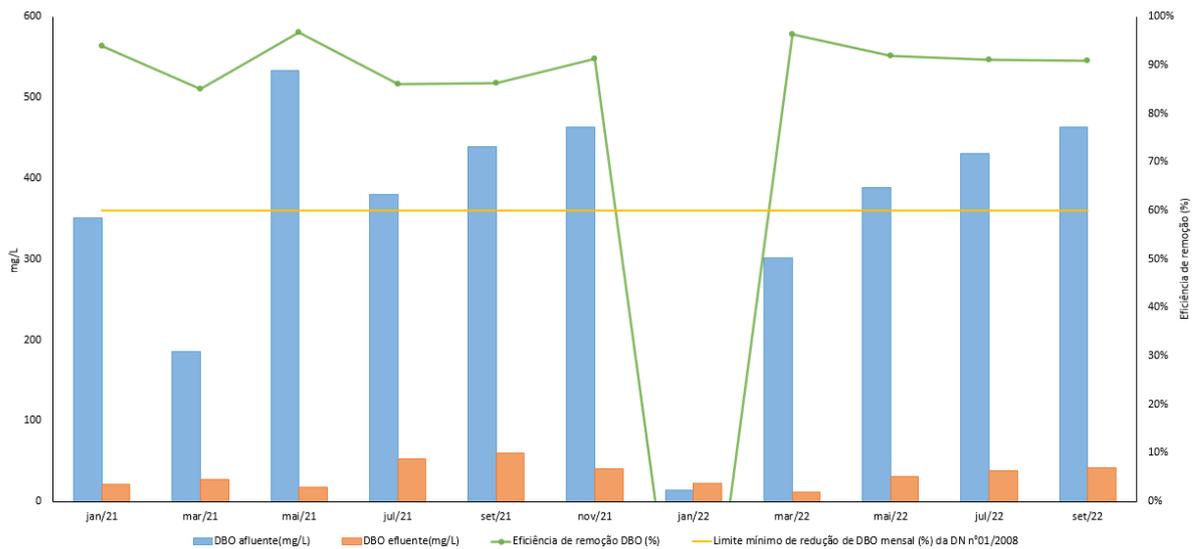
Considerando as condições de lançamento de efluentes da DN N° 01/2008, a DBO dos afluentes e dos efluentes e as eficiências mensais de redução de DBO das ETE estudadas constam nas Figuras 4, 5 e 6.



**Figura 4.** Resultados de DBO do afluente e do efluente e eficiência da ETE I.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 5.** Resultados de DBO do afluente e do efluente e eficiência da ETE II.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 6.** Resultados de DBO do afluente e do efluente e eficiência da ETE III.  
**Fonte:** Copasa, 2022.

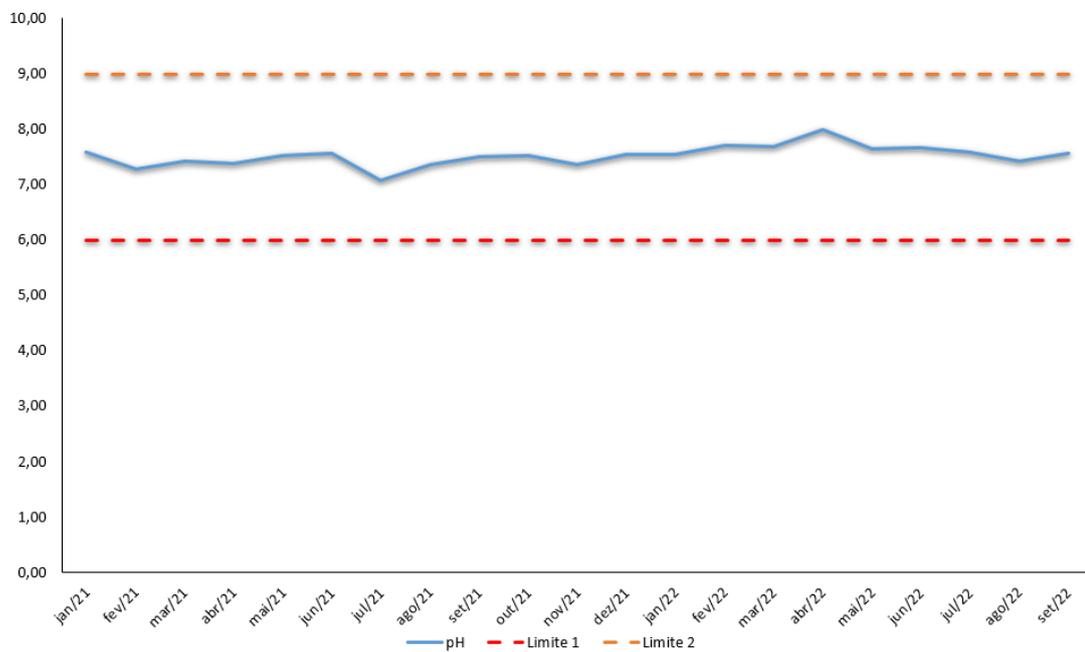
As ETE I e II apresentaram, durante todo o período analisado, resultados de eficiência de redução de DBO acima do limite mínimo mensal de 60% estabelecido pela DN nº 01/2008. No caso da ETE III, somente o mês de janeiro/2022 obteve um resultado de eficiência de redução de DBO abaixo do limite mensal, uma vez que o esgoto bruto no início do processo de tratamento encontra-se diluído pela chuva, comprometendo as características físico-químicas do efluente. Ainda que esse resultado estivesse fora do padrão, a média anual foi superior a 70%, não sendo prejudicada por esse único resultado inconforme.

Foi notado que existe sobrecarga no processo de tratamento quando se tem a condução da água das chuvas aos SES. Siqueira, Correa e Araújo (2017) afirmaram que essa circunstância acarreta baixa eficiência no tratamento de esgoto, além de elevar os custos do processo.

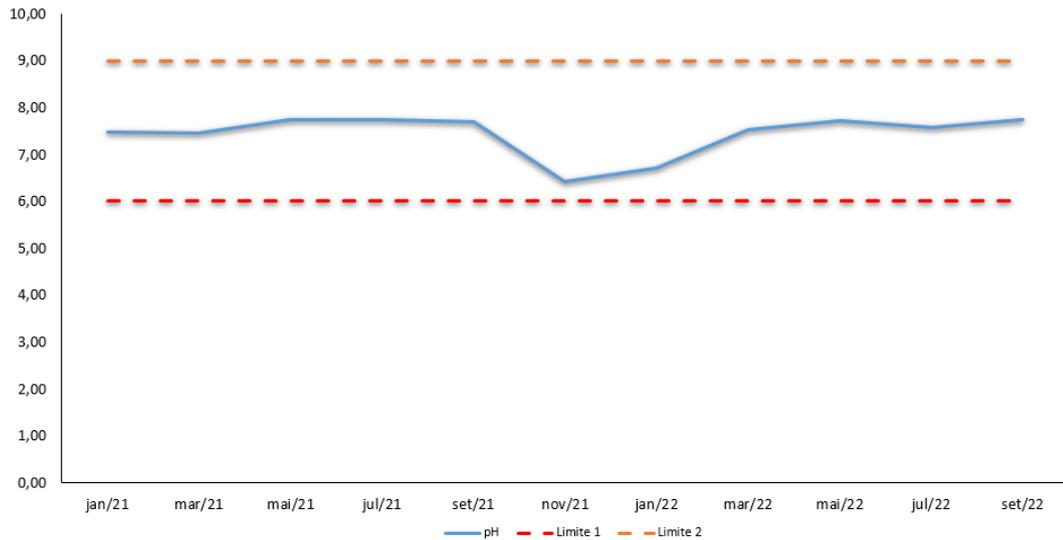
Nas ETE II e III, a frequência de coleta e análise dos resultados ocorrem bimestralmente, por esse motivo não houve resultados das amostras em todos os meses como ocorrido na ETE I.

#### 4.1.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

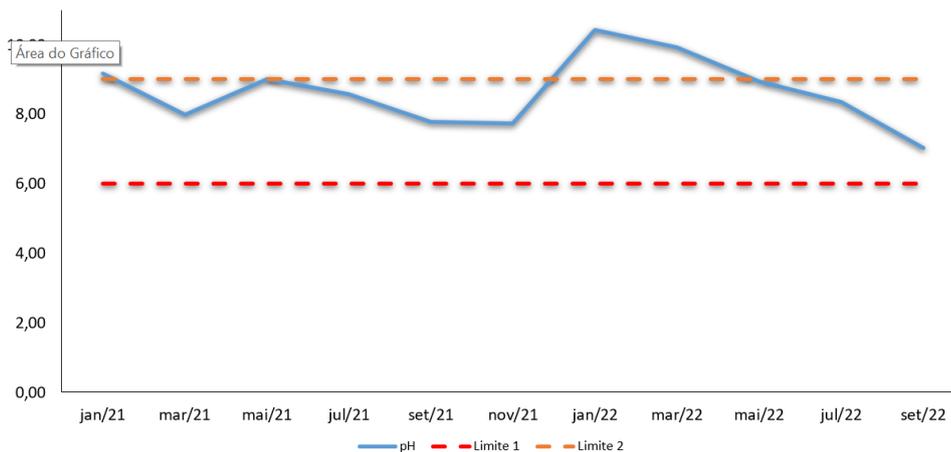
O pH é um dos parâmetros da DN n° 01/2008 para reúso em Minas Gerais para controle da qualidade dos efluentes e os resultados dos valores de pH dos efluentes das ETE em estudo constam nas Figuras 7, 8 e 9.



**Figura 7.** Resultados de pH para o efluente da ETE I  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 8.** Resultados de pH para o efluente da ETE II  
**Fonte:** Copasa, 2022.



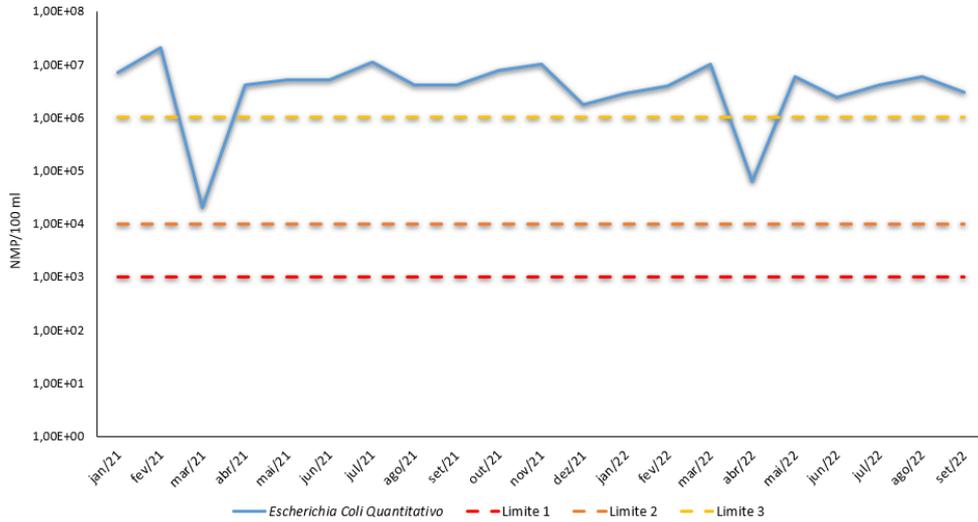
**Figura 9.** Resultados de pH para o efluente da ETE III.  
**Fonte:** Copasa, 2022.

Os resultados dos valores de pH do efluente tratado I e II oscilaram entre 6,42 e 7,75 no período avaliado, estando dentro da faixa de 6,0 a 9,0. Já o valor do pH do efluente da ETE III, apresentou resultados superiores a 9,0 durante o período chuvoso, quando as condições do esgoto que chega à estação de tratamento são diferentes, devido à diluição do esgoto com a água da chuva que impacta nas características físico-químicas do efluente tratado.

É importante considerar que em períodos chuvosos não existe tanta necessidade em irrigar as plantas. Então não haverá comprometimento da alcalinidade do solo, pois o efluente apresentou pH fora da faixa limite para reúso no período chuvoso, quando a irrigação pode ser suspensa ou ocorrer com menor frequência.

### 4.1.3 *Escherichia coli* e ovos de helmintos

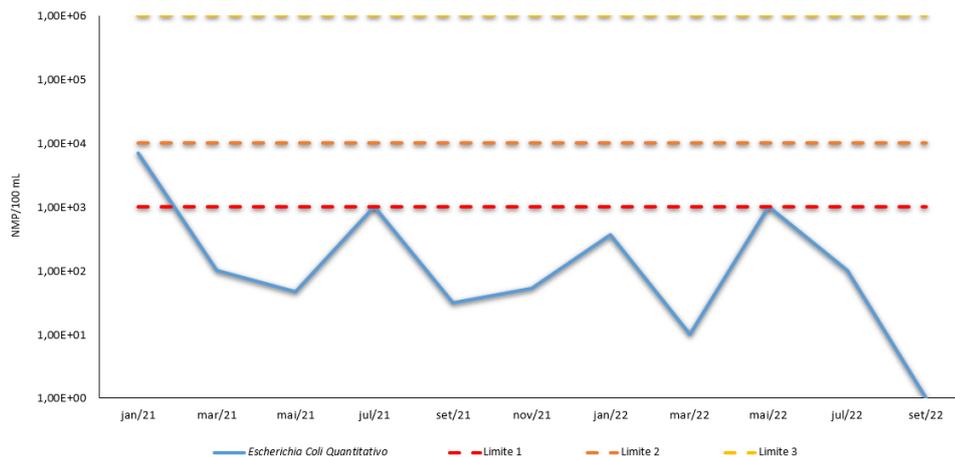
Os resultados das análises de *E. coli* para as ETE estudadas e os limites de reúso segundo a DN n°65/2020, estão mostrados nas Figuras 10, 11 e 12.



**Figura 10.** Monitoramento de *E.coli* do efluente tratado da ETE I.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 11.** Monitoramento de *E.coli* do efluente tratado da ETE II.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 12.** Monitoramento de *E.coli* do efluente tratado da ETE III  
**Fonte:** Copasa, 2022.

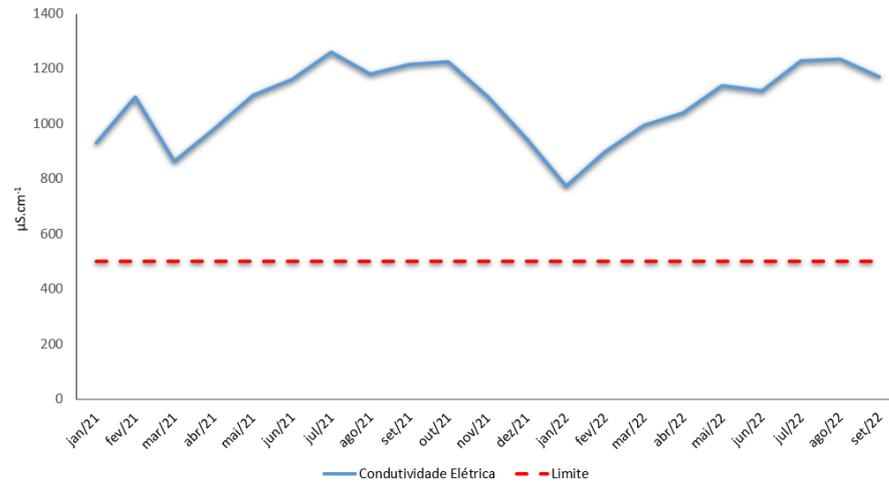
Os valores de *E.coli* da ETE I e II foram superiores aos limites estabelecidos pela DN CERH-MG n° 65/2020. O limite é de  $10^3$  NPM  $100 \text{ mL}^{-1}$ , para uso urbano na categoria amplo e  $10^6$  NPM  $100 \text{ mL}^{-1}$  para modalidade agrossilvipastoril, categoria limitada, conforme mostrado nas Figuras 10, 11 e 12. Em contrapartida, os resultados das análises de *E.coli* da ETE III atenderam aos limites da deliberação para reúso.

Os resultados de ovos de helmintos da ETE I estão em conformidade com a DN n°65/2020 com o limite de menor ou igual a 1 ovo  $\text{L}^{-1}$ .

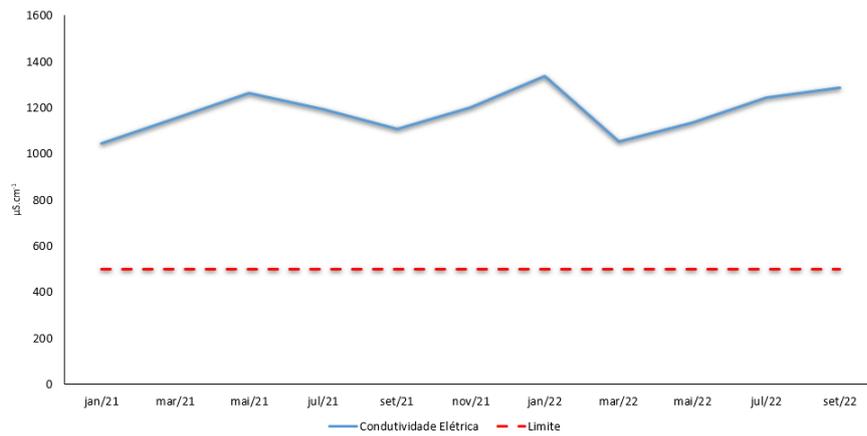
Com isso, ao se avaliar a viabilidade do reúso de água com base no parâmetro de *E.coli*, o efluente da ETE III é o mais indicado, por não necessitar de tratamento adicional, o que acarreta uma economia no processo de destinação final, já que as demais ETE necessitam de processos de desinfecção, dependendo da sua modalidade de reúso. Entretanto, deverá ser realizada análise do efluente dessa ETE e também da ETE II para ovos viáveis de helmintos, de maneira a garantir maior confiabilidade e segurança microbiológica na destinação desses efluentes, seguindo a frequência mínima de monitoramento da DN CERH-MG n° 65/2020.

#### 4.1.3 Condutividade Elétrica e Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

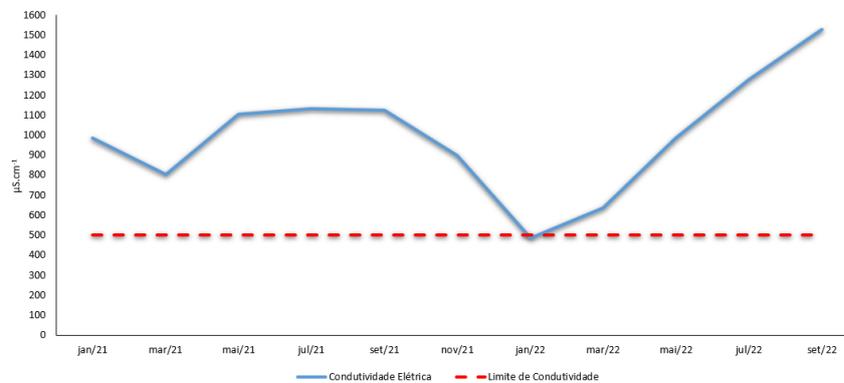
Os limites para o parâmetro condutividade elétrica dos efluentes, baseado na DN n°65/2020, devem ser superiores a  $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Nas Figuras 13, 14 e 15 são mostrados os resultados deste parâmetro para as ETE estudadas.



**Figura 13.** Condutividade elétrica do efluente da ETE I.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 14.** Condutividade elétrica do efluente da ETE II.  
**Fonte:** Copasa, 2022.



**Figura 15.** Condutividade elétrica do efluente da ETE III.  
**Fonte:** Copasa, 2022.

Em todas as ETE estudadas, os resultados de condutividade elétrica estão em acordo com a DN nº65/2020, ou seja, superiores a  $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Para a ETE I, os resultados da RAS foram superiores ao limite estabelecido pela legislação, de menor ou igual a 3, não havendo restrição de uso, podendo ser utilizado em quase todos os solos. Segundo Ayers *et al.* (1985) pelas diretrizes para interpretação da qualidade da água de irrigação, não há nenhuma restrição ao uso na irrigação considerando a capacidade de infiltração para valores de taxa de razão de adsorção de sódio RAS de 3 a 6 e condutividade elétrica da água de irrigação  $\text{Ceai} \geq 1200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Para as demais ETE, as análises da RAS deverão ser realizadas conforme a frequência mínima exigida na deliberação para reúso.

## 4.2 Reestruturação das ETE para implantação do reúso de efluente

Com os resultados dos parâmetros avaliados, foram efetivadas as ações nas ETE, de modo a ser implantado o reúso em mudas nativas e na jardinagem das unidades avaliadas.

### 4.2.1 ETE I

Em 2022, foi instalado o sistema para captação da água de reúso em uma das linhas de tratamento com capacidade operacional de  $125 \text{ L s}^{-1}$  (Figura 16), na saída do decantador secundário, com delimitação da área de aplicação do reúso (Figura 17) para destinar o efluente tratado na irrigação da área verde do jardim da ETE e a mudas de espécies nativas da região.



**Figura 16.** Sistema para captação da água de reúso na ETE I.  
**Fonte:** Dos autores, 2022.



**Figura 17.** Delimitação da área de reúso no jardim da ETE I.

**Fonte:** Adaptada do Google Earth, 2022.

Na Figura 18 é mostrado o desenvolvimento do jardim no mês de outubro de 2022, com o início da irrigação com o efluente tratado, onde se percebe as condições das gramíneas que receberam a água de reúso em comparação com uma parte da área que não recebeu esse tratamento.



**Figura 18.** Irrigação da área verde da ETE I, usando efluente tratado.

**Fonte:** Dos autores, 2022.

Em maio de 2022, as mudas de espécies nativas da região foram plantadas na ETE I e receberam o efluente tratado com o sistema de irrigação por gotejamento. O crescimento das espécies é evidenciado na Figura 19.



**Figura 19.** Irrigação de mudas nativas na ETE I usando efluente tratado.  
**Fonte:** Dos autores, 2022.

Na Figura 20 são mostradas as torneiras devidamente sinalizadas com placas indicativas do novo sistema de jardinagem com o efluente tratado como fonte de água de reúso.



**Figura 20.** Adaptações no sistema de jardinagem da ETE I com água de reúso do efluente tratado  
**Fonte:** Dos autores, 2022.

Está em andamento um convênio com a prefeitura local para a modalidade do reúso urbano, conforme a DN CERH-MG N°65/2020. As praças da cidade receberão o efluente tratado da ETE I como fonte alternativa de água para irrigação dos jardins.

Uma indústria próxima à ETE está avaliando a viabilidade do reúso da água para irrigar a área verde interna do empreendimento.

#### 4.2.2 ETE II e ETE III

Parte da vazão do efluente tratado foi destinada ao projeto de fertirrigação no plantio de espécies nativas em uma área da ETE II (Figura 21) e à irrigação de árvores na ETE III (Figura 22). A construção de novas capineiras está em estudo, como alternativa para reúso na ETE II. Está em estudo a implantação de capineiras na unidade III.



**Figura 21.** Sistema de gotejamento da ETE II para irrigação de mudas nativas com efluente tratado.  
**Fonte:** Dos autores, 2022.



**Figura 22.** Fertirrigação das árvores da ETE III pelo sistema de gotejamento com efluente tratado.  
**Fonte:** Dos autores, 2022.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As ETE avaliadas apresentaram eficiências superiores àquelas exigidas pela legislação, demonstrando o bom desempenho e a potencialidade da prática de reúso da água residuária.

Os resultados obtidos evidenciaram que nas ETE I e II será necessária a implantação de pós-tratamento, com processo de desinfecção com cloro, de modo a atender os limites estabelecidos pela DN CERH-MG n° 65/2020 para *E. coli*, para as modalidades de reúso urbano, agrossilvipastoril e ambiental. No entanto, pelas ações a serem realizadas dentro das áreas dessas estações, com acesso restrito aos colaboradores das unidades e uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), esse tratamento ainda não foi implantado.

Na ETE III, os resultados das análises de *E.coli* foram menores que os limites estabelecidos pela DN CERH-MG n° 65/2020, mostrando que é viável o uso do efluente nas modalidades consideradas, sem a necessidade de aplicar a cloração.

Com relação ao pH, os efluentes tratados avaliados apresentaram valores dentro dos limites exigidos, ou seja, valores de pH entre 6 e 9.

A condutividade elétrica é um dos parâmetros de qualidade química para reúso na modalidade agrossilvipastoril e nas três ETE estão de acordo com o que é estabelecido na DN n° 65/2020, maior ou igual a  $500 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

As análises microbiológicas mostraram que os resultados da ETE I para ovos de helmintos são pertinentes com o limite da Deliberação para o reúso.

## **6 CONCLUSÃO**

Os efluentes das três ETE analisadas apresentam grande potencialidade para o reúso no Norte de Minas Gerais, considerando a qualidade dos efluentes tratados e que ações corretivas podem ser adotadas, de modo a corrigir os parâmetros que estão fora do padrão da DN CERH-MG n° 65/2020. Uma das ações necessárias será a intensificação do monitoramento dos parâmetros não conformes e a implantação das análises e monitoramento dos solos. Além disso, é importante, na prática de reúso, que os envolvidos sejam capacitados e utilizem EPIs adequados, de maneira a minimizar os potenciais riscos à saúde.

Recomenda-se a continuidade do trabalho para obtenção de mais informações, tendo em vista que as propostas de reúso estão em andamento, como a irrigação de praças do município, a irrigação de área verde em indústria local e de plantas nativas da região e do projeto de fertirrigação de cultura nas dependências das ETE. Ações essas que, além de reduzir a demanda do uso de água de qualidades mais nobres, também minimizam os impactos do lançamento no corpo receptor. O estudo da avaliação do impacto do reúso nas características do solo e na produção vegetal também é recomendado.

A prática de reúso de água precisa ser priorizada como alternativa viável, técnica e ambientalmente, principalmente em locais com déficit hídrico e com sérios problemas de escassez hídrica. Salientando que isso passa também pela conscientização, sensibilização e mobilização para sua aplicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, por ceder as informações, os dados e as análises utilizadas na realização deste trabalho. Agradecem também à empresa Vida Prestação de Serviço em Engenharia, Meio Ambiente e Reflorestamento pelo auxílio financeiro na publicação deste artigo.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR13969: Tanques sépticos -Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro. 60p. 1997.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília, DF. 2021.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*: American Public Health Association, Water Environmental Federation, 23rd. ed. Washington 1.796p. 2017.

Asano, T (2002). *Waste water reuse for non-potable applications*. UNEP - United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics. Disponível em: <<https://www.unep.or.jp/ietc/publications/reportseries/ietcrep9/4.paper-D/4-Dasan1.asp>> Acesso em: 21 fev. 2022.

Ayers, R. S., e Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29, p. 174). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Brasil. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36, 2005. Disponível em:<<https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2021

Brasil. Resolução CONAMA nº 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, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, v. 2, n. 1, p. 43, 13 maio 2011. Seção 1, p. 43-46, 2011. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. *Água de Reúso: Oportunidades e Riscos para o Setor Empresarial*. 25 agosto 2022. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/cebds-agua-reuso/>> Acesso em: 29 nov. 2022.

CERH-MG. Conselho Estadual de Recurso Hídricos de Minas Gerais (2020). *Deliberação normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020*. Disponível em:<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>>. Acesso em: 02 jun. 2022.

Dantas, D. L., & Sales, A. W. C. (2009). Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do reúso da água. *Revista de Gestão Social e ambiental*, 3(3), 04-19. Disponível em: <<https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/173/74>>. Acesso em: 14 set. 2023.

Digital Wate. *Israel É Um Dos Primeiros Do Mundo Na Reciclagem De Água*. 8 dezembro 2020. Disponível em:<<https://www.digitalwater.com.br/israel-e-um-dos-primeiros-do-mundo-na-reciclagem-de-agua/#:~:=%A%20regi%C3%A3o%20C3%A1rida%20de%20Israel,fornecer%2025%25%20de%20sua%20C3%A1gua>>. Acesso em : 20 nov 2022.

Duarte, Isadora. *Preços dos adubos no Brasil sobem até 53% com Guerra entre Rússia e Ucrânia*. Nova Cana, 2022. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/plantio/precos-adubos-brasil-sobem-53-guerra-russia-ucrania-020522>> Acesso em: 07 de out. de 2022.

Florencio, L; Bastos, R. K. X; Aisse, M. M. (coordenador). *Tratamento e utilização de esgotos Sanitários*. PROSAB –Edital IV. Recife: ABES, 2006. 427p.

Hespanhol, Ivanildo *et al.* Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf)> Acesso em: 10 jan. 2022.

Minas Gerais. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM e CERH nº01/2008, de 13 de maio de 2008. Belo Horizonte: COPAM*. Disponível em: <[http:// Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH, de 05 de maio de 2008 \(siam.mg.gov.br\)](http://Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH, de 05 de maio de 2008 (siam.mg.gov.br))>. Acesso em: 04 fev. 2022.

Nichele, Juliana. *Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo*. 2009. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/22064>> Acesso em: 10 jan. 2022.

Obraczka, Marcelo; Silva, D. R.; Campos, A. S. Reuso de efluentes de tratamento secundário como alternativa de fonte de abastecimento de água no município do Rio de Janeiro. *Sistemas & Gestão*, v. 14, n. 3, p. 291, 2019. Disponível em: <<https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1392/pdf>> Acesso em: 25 fev. 2022.

Reis, Giovanna Lukesic. *Irrigação com esgoto tratado aumenta produtividade economiza água*. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www5.usp.br/noticias/meio-ambiente/irrigacao-com-esgoto-tratado-aumenta-produtividade-e-economiza-agua/>. Acesso em: 03 jul. 2022.

Santos, A. S. P., de Mendonça Lima, M. A., da Silva Junior, L. C. S., da Silva Avelar, P., de Araujo, B. M., Gonçalves, R. F., & Vieira, J. M. P (2021). Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01–Terminologia e Conceitos de Base. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 9, n.2, p. 1–17, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/43709>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

Santos, A. S. P., Gonçalves, R. F., de Melo, M. C., de Mendonça Lima, M. A., & de Araujo, B. M. (2020). Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e reúso no Brasil. *Sustinere: Revista de Saúde e Educação*, v. 8, p. 437-462, 2020. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/48976>> Acesso em: 20 fev. 2022.

Santos, J. G., & Cândido, G. A. (2013). Sustentabilidade e agricultura familiar: um estudo de caso em uma associação de agricultores rurais. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 7(1), 70-86. Disponível em: <[https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/528/pdf\\_42](https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/528/pdf_42)>. Acesso em: 12 set. 2023.

Siqueira, B. F.; Correa, A. C. S. S.; Araújo, G. R. A. (2017). Estudo Da Influência Das Águas Pluviais Em Um Sistema De Tratamento De Esgoto Por Lodo Ativado. *Associação Brasileira de Recursos Hídricos. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – SBRH*. Florianópolis – SC, 2017. Disponível em: < <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=2374>> Acesso em: 10 mar. 2022.

