



**Reuso de efluentes para fertirrigação: estudo de caso da ete action,
cachoeiras de Macacu, RJ**

**Reuse of effluents for fertirrigation: a case study of ete action, cachoeiras de
Macacu, RJ**

DOI: 10.55905/rdelosv16.n42-020

Recebimento dos originais: 17/02/2023

Aceitação para publicação: 15/03/2023

Felipe Jonathan Areias da Silva

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: areias.felipej@gmail.com

Bruno Cabral Muricy

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: brmuricy@gmail.com

Miguel Angelo Alvarenga de Carvalho

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: migcarvcarv@gmail.com

Marcelo Obraczka

Doutor em Planejamento Energético

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Endereço: Rio de Janeiro – RJ, Brasil

E-mail: obraczka@eng.uerj.br

RESUMO

A partir da análise do estudo de caso de fertirrigação utilizando o efluente de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) em Cachoeiras de Macacu/RJ, esta pesquisa visa contribuir para a implementação da reutilização de águas residuais, avaliando-o como fonte alternativa de água para irrigação de áreas rurais. A irrigação com água recuperada tem sido cada vez mais utilizada por vários países, devido a situações de escassez de água e ao buraco da agricultura como um dos maiores consumidores de água. Com base nos resultados da avaliação dos parâmetros de monitoramento da ETAR e comparando-os com os limites nas referências relativas aos parâmetros de qualidade das águas de reuso no Brasil e no exterior, constatou-se que existe um bom potencial para o uso de efluentes na irrigação. A maioria dos parâmetros avaliados atende aos padrões da legislação disponível. Por outro lado, também foi possível



identificar algumas dificuldades para a implementação desta prática no Brasil, tais como: a) o reduzido conhecimento e a falta de uma cultura de reúso no país, justificando inclusive a ausência de uma legislação mais específica para a água recuperada, tanto na área rural quanto na urbana; b) as longas distâncias entre os grandes produtores de água recuperada (ETAR nas áreas urbanas) e os potenciais consumidores na área rural e c) o baixo custo da água de fontes convencionais (poços, rios, lagoas) na área rural. Entretanto, a reutilização se tornará uma alternativa estratégica para uma fonte de água, aumentando a segurança da água e permitindo uma gestão mais racional e sustentável dos recursos hídricos. Apesar da reconhecida resiliência dos processos de lagoas de estabilização, no caso específico da ETAR avaliada, a ausência de uma garantia de entrada mais constante de esgoto bruto para alimentar o sistema pode ser crítica, uma vez que implica diretamente em uma menor disponibilidade de água para suprir a demanda potencial de água recuperada na região vizinha. Para reduzir os riscos sanitários, a implementação de uma ultrafiltração com membrana no trem de tratamento aumentaria as barreiras sanitárias e deveria proporcionar mais segurança ao sistema.

Palavras-chave: reúso de água, efluentes, estação de tratamento de águas residuais, fertirrigação.

ABSTRACT

From the analysis of the case study of fertigation using the effluent from a wastewater treatment plant (WWTP) in Cachoeiras de Macacu/RJ, this research aims to contribute to the implementation of wastewater reuse by assessing it as an alternative water source for irrigation of rural areas. Irrigation with reclaimed water has been increasingly used by several countries, due to situations of water scarcity and the role of agriculture as one of the major water consumers. Based on the results of the assessment of monitoring parameters of the WWTP and comparing them with limits in references regarding quality parameters for reuse waters in Brazil and abroad, it was found that there is a good potential for the use of effluents in irrigation. Most of the assessed parameters meet the standards of the available legislation. On the other hand, it was also possible to identify some difficulties for the implementation of this practice in Brazil, such as: a) the reduced knowledge and the lack of a culture about reuse in the country, even justifying the absence of more specific legislation for reclaimed water, both in the rural and urban areas; b) long distances between major reclaimed water producers (WWTP in urban areas) and potential consumers in rural areas and c) the low cost of regular water from conventional sources (wells, rivers, ponds) in rural areas. However, reuse will become a strategic alternative for a water source, increasing water security and enabling a more rational and sustainable management of water resources. Despite the recognized resilience of stabilization ponds processes, in the specific case of the assessed WWTP, the absence of a guarantee of more constant input of raw sewage to feed the system can be critical, since it directly implies a lower water availability to supply potential demands for reclaimed water in the surrounding region. For reducing sanitary risks, the implementation of a ultrafiltration with membrane in the treatment train would increase sanitary barriers and should provide more safety to the system.

Keywords: water reuse, effluent, wastewater treatment plant, fertirrigation.



1 INTRODUÇÃO

No que se refere à fertirrigação, além de ser capaz de suprir a demanda hídrica das plantas, o uso de efluente tratado apresenta várias vantagens entre elas o maior fornecimento de nutrientes, principalmente Nitrogênio, Fósforo e Potássio (LUDWIG *et al.*, 2012). O reaproveitamento de efluentes de esgoto tratado no setor agrícola se destaca por seu potencial como fonte de água e nutrientes, tornando disponíveis ao solo e às plantas teores consideráveis de N e P caracterizando a agricultura como um meio de descarte adequado, seguro e benéfico das águas residuais tratadas (LOUZADA, 2016).

De uma maneira geral, constata-se a inexistência de uma cultura de reuso no Brasil, sendo que a reutilização dos efluentes tratados é ainda pouco consolidada, especialmente fora do universo corporativo (OBRACZKA *et al.*, 2019). Em estudos realizados por Bila *et al.* (2017) pode ser verificado que em sistemas não corporativos na RMRJ apenas 0,5% dos efluentes é reutilizado, basicamente a partir de iniciativas pontuais e isoladas, como no caso das ETEs Alegria e Penha e da ETE Deodoro. Nesses três casos, após uma etapa de polimento (filtração e desinfecção) uma pequena fração dos efluentes do tratamento secundário é utilizada para empregos urbanos não potáveis e não nobres. Trata-se de demandas onde a qualidade necessária não é elevada, incluindo usos como lavagem de vias, feiras e equipamentos, desobstrução de galerias e rega de jardins e parques urbanos (OBRACZKA *et al.*, 2019).

Apesar de ainda pouco utilizado no país, o reuso para fins agrícolas possui grande potencial, considerando aspectos como a grande demanda hídrica para irrigação e a presença benéfica de nutrientes que podem contribuir para um melhor desenvolvimento das culturas e redução dos investimentos em adubação por parte do agricultor

No que se refere à fertirrigação, pode ser destacado o reaproveitamento de efluentes de esgoto tratado no setor agrícola por seu potencial como fonte de água e nutrientes, tornando disponíveis ao solo e às plantas teores consideráveis de Nitrogênio (N) e Fósforo (P), caracterizando a agricultura como um meio de descarte adequado, seguro e benéfico das águas residuárias tratadas (LOUZADA, 2016). De acordo com experimento realizado por Louzada (2016), o uso de esgoto tratado proporcionou incremento nos aspectos Desenvolvimento, Rendimento e Teor de Óleo das Sementes, elevando ainda de maneira benéfica os teores de Magnésio, Enxofre e Manganês no solo. Além de ser capaz de suprir a demanda hídrica das



plantas, o uso de efluente tratado apresenta várias vantagens, entre elas o maior fornecimento de nutrientes, principalmente Nitrogênio, Fósforo e Potássio (LUDWIG *et al.*, 2012).

Em suas pesquisas utilizando efluente tratado para irrigação, Mota (2016) constatou ganhos representativos de produtividade e redução de custos de produção em várias culturas como melancia e cana de açúcar.

Por outro lado, a prática requer maiores cuidados tendo em vista a presença de patogênicos e os riscos envolvidos quanto à saúde da cultura e da população que a consumirá. O reuso de efluentes sanitários na irrigação pode trazer consequências negativas, uma vez que os vegetais podem absorver bactérias patogênicas, vírus e substâncias químicas tóxicas presentes na água fornecida às plantas, podendo representar elevados riscos à saúde humana pelo consumo dos alimentos contaminados (SANO *et al.*, 2016). Esses autores relatam um largo surto de norovírus ocorrido na Alemanha Oriental em 2012 que foi provavelmente causado por morangos congelados importados da China (BERNARD *et al.*, 2014). Foram encontrados múltiplos genótipos de norovírus em morangos e em pacientes com gastroenterite, o que embasou a hipótese de que os morangos importados foram cultivados utilizando efluentes sanitários não tratados (MÄDE, 2013). Produtos alimentícios importados contaminados com vírus patogênicos originários de efluentes sanitários foram também os causadores de surtos similares em outros países desenvolvidos (ETHELBEIG, 2010; PÉREZ-SAUTU *et al.*, 2011; TERIO *et al.*, 2015), particularmente quando os produtos foram importados de áreas e países onde os sistemas de água e esgotos são mais precários e o esgoto sanitário é utilizado diretamente na irrigação (SANO *et al.*, 2016). Mesmo para emprego restrito de efluentes tratados - como no caso do reuso para irrigação em áreas verdes e jardinagem em áreas urbanas - há necessidade de verificação das concentrações de potenciais contaminantes químicos e biológicos em relação aos riscos e a forma como podem afetar a saúde humana e o meio ambiente (FIESP, 2005).

Situado no município de Cachoeiras de Macacu - RJ, o empreendimento privado (ACTIONSHOP Tratamento de Resíduos LTDA) possui como atividade principal o recolhimento e o tratamento de efluentes sanitários de eventos, canteiros de obras, limpeza de fossas e outras procedências. Transportados por caminhões auto vácuo, os efluentes são tratados em um sistema de três lagoas de estabilização em série, cuja capacidade máxima é de cerca de 700 m³ por dia (<http://actionshop.com.br/>).



Segundo Obraczka *et al* (2019), com base em dados da ACTIONSHOP, apenas uma pequena parte do efluente tratado (inferior a 10% da vazão média afluyente) é reaproveitado na fertirrigação de culturas vizinhas de limão e goiaba, sendo o restante da vazão tratada pelo sistema lançado no Rio Macacu. Esse trabalho possui como objetivo analisar o reuso de efluentes de sistemas de tratamento para fins de irrigação no meio rural, utilizando como estudo de caso o sistema da ACTIONSHOP. Para isso, foi realizada a caracterização básica desse sistema, além de proceder-se a comparação dos resultados de análises dos efluentes com limites de parâmetros de controle da qualidade recomendados pela legislação pertinente para fins rurais e de irrigação. Complementarmente, foi também analisado o funcionamento de um sistema de polimento desenvolvido em escala de laboratório (pré filtração seguida de ultrafiltração em membrana) e seu impacto na melhoria da qualidade do efluente tratado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O roteiro metodológico foi dividido em quatro etapas distintas, descritas sucintamente a seguir:

Etapa 1 – Levantamento de dados para caracterização geral da região e do empreendimento objeto do estudo (ETE da ACTIONSHOP e reuso para fertirrigação).

Foram levantados dados de referências como o Plano Diretor e o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município de Cachoeira de Macacu, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ), além do ATLAS de Esgotos da ANA e o Panorama de Esgotamento Sanitário do RJ. Foram também pesquisados os sistemas de informação e bancos de dados como os do SNIS e do IBGE.

As características gerais do sistema de tratamento (ETE) da ACTIONSHOP foram levantadas com base em dados disponibilizados pelo empreendedor e visitas de campo, incluindo: a) dimensões do sistema de tratamento; b) principais clientes e fontes de geração dos esgotos afluentes; c) dados quantitativos como vazões de outorga, vazão licenciada, vazões médias de projeto e afluentes ao sistema bem como a vazão de reuso utilizada na fertirrigação; e d) dados de qualidade dos efluentes.

Os dados de projeto e operação da ETE foram também levantados junto ao empreendedor (ACTIONSHOP), utilizando ainda as informações disponíveis nas licenças de instalação e operação, outorga, além de outros documentos oficiais. Para melhor caracterização do



empreendimento (ETE) e da região do seu entorno foram realizadas várias visitas e inspeções do local.

Etapa 2 - Levantamento da legislação, normas e demais referências quanto a limites de parâmetros de qualidade de efluentes para reuso rural.

Com base em pesquisas em *sites*, periódicos e outras fontes de dados, foram levantadas normas e legislação referentes ao reuso rural para fins agrícolas, de irrigação e de paisagismo.

Foram levantadas distintas referências disponíveis no Brasil quanto ao reuso rural de efluentes tratados, entre elas: a) valores recomendados por PROSAB (2006) e FIESP (2005), e b) limites de parâmetros na legislação estadual de entes federativos do país, além da legislação do município de Campinas (SP). Entre os dados obtidos a partir dessas referências, podem ser destacados os seguintes: a) limites da legislação em âmbito nacional - estados de Minas Gerais (CERH- MG nº65), do Rio Grande do Sul (CONSEMA Nº 419) e do Ceará (COEMA nº 02) para reuso com fins agrícolas; e b) limites e valores recomendados por legislações em âmbito internacional tais como as do EUA (*United States Environmental Protection Agency - USEPA*), da União Europeia (EU), da Austrália (*Australian Guidelines for Water Reuse - AGWR*), e de Israel (Ministério do Ambiente de Israel e Ministério da Saúde de Israel *apud* CHOUCKRALLAH *et al*, 2013). Os dados levantados foram tabulados e compilados, considerando filtros como parâmetros de controle e monitoramento bem como a fonte de informação utilizada.

Etapa 3 – Caracterização da qualidade dos efluentes do sistema em estudo (ACTIONSHOP):

A etapa de caracterização da qualidade dos efluentes foi dividida em três sub-etapas, descritas sucintamente a seguir:

a) Etapa 3.1 – Caracterização da qualidade dos efluentes da ETE, baseada no levantamento de dados secundários do afluentes bruto e do efluente tratado.

Foi realizado um levantamento e compilação de dados secundários extraídos dos boletins de análises realizadas nos anos de 2017 e 2018 por laboratório independente e credenciado junto ao INEA, informações essas disponibilizadas pela ACTIONSHOP. Os dados abrangem sete campanhas realizadas em 2017 e uma campanha em 2018. As amostras para caracterização do afluentes bruto foram coletadas a montante da 1ª lagoa, enquanto para caracterização do efluente tratado foram coletadas amostras na saída da 3ª e última lagoa do sistema de tratamento. Esse



monitoramento teve por finalidade o atendimento às demandas da legislação e das restrições/especificações da Licença Ambiental de Operação (LO) do sistema de tratamento.

b) Etapa 3.2 – Caracterização dos efluentes da ETE através de análises no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES).

Essa etapa de monitoramento complementar foi realizada no LES do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DESMA/UERJ). Foram analisadas amostras de efluentes da ETE para obtenção de dados primários sobre sua qualidade e ainda gerar informações mais recentes do que as já disponíveis (obtidas na Etapa 3.1), fornecendo assim maiores subsídios para a presente pesquisa. Em todas as campanhas realizadas foram coletadas amostras simples em frascos plásticos de 1 litro, acondicionados sob refrigeração em recipientes de isopor, que foram conduzidas ao LES após as coletas. As restrições de recursos e de logística permitiram a realização de um total de onze campanhas, no período entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019. Ao longo do ano de 2018 foram coletadas amostras em sete campanhas. O monitoramento teve continuidade em 2019, com a realização de mais quatro coletas de amostras. No início da pesquisa eram também analisadas amostras do afluente bruto, coletadas a montante da entrada da ETE. Porém, em determinado momento entendeu-se que essas análises não eram prioritárias e não agregavam maior valor à pesquisa. Tal simplificação permitiu o emprego mais racional dos recursos disponíveis de logística e laboratório em outras demandas. Por outro lado, a partir de abril de 2019, passaram também a serem analisadas amostras de efluente após seu polimento por um sistema de tratamento experimental instalado no LES, composto por um sistema de ultrafiltração, utilizando-se uma membrana com porosidade de 20 nm. Visando preservar a membrana e otimizar seu desempenho, foi inserido a sua montante um pré-filtro de dupla camada (cerâmica filtrante e carvão ativado).

A inserção desse experimento justificou-se pela importância em aumentar-se a eficiência do processo, notadamente na remoção de coliformes e de organismos patogênicos, considerando os potenciais riscos de agravos à saúde mencionados por fontes como Sano *et al* (2016). De acordo com a WHO (2011), a reduzida porosidade dessa membrana impede a passagem de vírus, bactérias, protozoários e outras impurezas, fornecendo maiores garantias de qualidade da água do ponto de vista bacteriológico.



Dessa forma, além de dar continuidade às análises de amostras do efluente após a 3ª lagoa da ETE, foram incluídas mais duas tipologias de amostras na rotina de análises da pesquisa no LES: o efluente filtrado e o efluente pós-membrana (permeado). Porém, a partir do mês de outubro de 2019, a membrana apresentou problemas de colmatção e “*fouling*” e as análises de filtrado e pós membrana não puderam ser mais realizadas até o final da pesquisa.

A seleção dos parâmetros adotados para análise foi feita em função das demandas do estudo, associadas às restrições e limites de qualidade para reuso rural que são discriminadas pelas referências pesquisadas. Porém, em função das limitações físicas e de logística do próprio LES, alguns desses parâmetros relevantes não puderam ser analisados, notadamente os bacteriológicos, como coliformes e ovos de helmintos.

Todas as análises laboratoriais foram realizadas com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

c) Etapa 3.3 - Compilação e Análise dos dados das Etapas 3.1 e 3.2 e comparação com valores de referência e limites levantados na Etapa 2.

Os dados obtidos foram compilados, sendo calculados os valores médios para as séries de resultados para cada parâmetro, segregados por fonte de dados utilizada (Laboratório da ACTIONSHOP e LES). Os parâmetros analisados foram: Coliformes Fecais (*E. Coli* e Coliforme Fecais Totais); Nutrientes (Amônia, e Fósforo Total); Salinidade (Cloreto e Condutividade); Sólidos em Suspensão Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); Matéria Orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Demanda Química de Oxigênio - DQO); Surfactantes (Substâncias Ativas ao Azul de Metileno - MBAS); Toxicidade e Óleos e Graxas. Para os parâmetros como pH, Cloreto, Turbidez e SST foram também desenvolvidos gráficos (*boxplots*), podendo-se visualizar a variação dos resultados levantados/obtidos, a partir de seus valores médios, máximos, mínimos e medianos.

Etapa 4 – Análise e Discussão dos resultados.

Com base nas informações geradas nas etapas anteriores da pesquisa, na Etapa 4 foi realizada uma discussão sobre os resultados, a partir da análise das características do efluente para fertirrigação sob a ótica de limites e valores de referência levantados nas fontes de consulta e de referência.



O desenvolvimento do estudo forneceu ainda subsídios para identificação de fragilidades e potencialidades do reuso como alternativa de abastecimento de água e para elaboração de proposições com vistas à implementação do reuso para fins agrícolas no cenário estudado.

3 RESULTADOS

Etapa 1- Levantamento de dados para caracterização geral da região e do empreendimento objeto do estudo

A ETE da ACTIONSHOP situa-se na área rural do município de Cachoeiras de Macacu, distante cerca de 1 km do centro urbano do seu distrito de Papucaia (Figura 1). Além de Papucaia, Cachoeiras de Macacu possui outros três (3) distritos: distrito sede (Cachoeira de Macacu), Japuiba e Subaio, abrangendo um território total de 95474,9 ha (IBGE, 2019) e população de 54.273 habitantes (IBGE, 2010). O município está inserido na Macrorregião Ambiental da Bacia da Baía de Guanabara, das Lagoas Metropolitanas e da Zona Costeira Adjacente (Decreto Estadual N° 26.058 de 14/03/2000), sendo abrangido pela Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH V) (PERHI, 2014). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Cachoeiras de Macacu (PMSB, 2012), o município é atravessado pelo Rio Macacu, o maior rio que deságua na Baía de Guanabara, tanto em extensão quanto em volume d'água. Segundo o Atlas de Esgotos da ANA, 30,4 % do esgoto em Cachoeiras de Macacu não é sequer coletado e 55,8 % é coletado, mas não é tratado. A carga orgânica de esgoto estimada lançada *in natura* no Rio Macacu é de cerca de 2535 kg de DBO/ dia. O sistema de tratamento de efluentes da ACTIONSHOP foi inaugurado em 2015. De acordo com a Licença Ambiental de Operação (LO) 1860/2014, expedida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Cachoeiras de Macacu, a atividade instalada é uma Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários, Águas Residuais e Efluentes Industriais, ocupando uma área total de cerca de 3 ha. O empreendimento possui Outorga de Licença de Recursos Hídricos (UM036623/35.31.06) para lançamento de resíduos tratados no Rio Macacu, para vazões mínima e máxima de 25 e 30 m³/h, respectivamente.

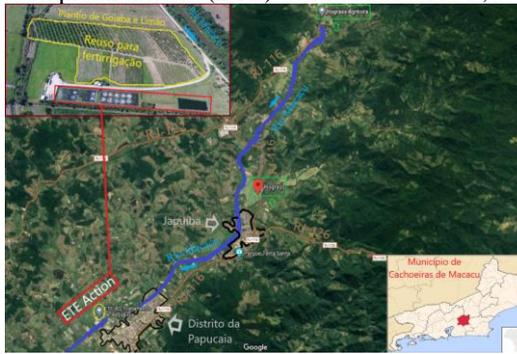
Os efluentes brutos que alimentam o sistema da ACTIONSHOP são coletados por caminhões de auto vácuo (**Figura 2**) em empresas/clientes, empreendimentos, obras e eventos, sendo a maior parte desses esgotos proveniente de fossas, tanques sépticos e banheiros químicos.

A montante do sistema de lagoas há uma estrutura de recepção dos efluentes brutos composta por um sistema preliminar de remoção de sólidos grosseiros. Ela funciona como uma



caixa retentora de óleo, escumas, borras e sedimentos/areia. Na sequência, o efluente é encaminhado a gradeamento, passando posteriormente por uma Calha Parshall (**Figura 3**), e vertendo então na 1ª lagoa do sistema. O sistema de tratamento propriamente dito é composto por uma série de três lagoas de estabilização de formato retangular e seção trapezoidal, sendo as duas primeiras aeradas e a 3ª de decantação/maturação. Cada lagoa possui uma área de espelho d'água de cerca de 1 ha, variando de 1,2 a 1,5 metros de profundidade, sendo o volume de 3500 m³ nas duas primeiras lagoas e de 1500 m³ na 3ª lagoa (**Figura 4**). A impermeabilização de fundo das lagoas é feita por uma manta de polietileno. Na 3ª lagoa foram introduzidas algumas espécies de peixes, principalmente tilápias.

Figura 1: Localização do empreendimento (ETE) da ACTIONSHOP, Cachoeiras de Macacu, RJ.



Fonte: Os autores, com base no Google Earth.

Fonte: <http://actionshop.com.br/servicos/tratamento-de-efluentes/>

Figura 2: Chegada de caminhão auto vácuo a ETE.



Fonte: Os autores, com base no Google Earth.

Fonte: <http://actionshop.com.br/servicos/tratamento-de-efluentes/>

Figura 3: Caixa de retenção de borras e calha Parshall, situados a montante do sistema de lagoas em série da ETE.



Fonte: Os autores, com base no Google Earth.

Fonte: <http://actionshop.com.br/servicos/tratamento-de-efluentes/>

Figura 3: Vista em 1º plano da lagoa aerada de montante da ETE.



Fonte: Os autores, com base no Google Earth.

Fonte: <http://actionshop.com.br/servicos/tratamento-de-efluentes/>

O sistema funciona por bateladas, sendo a vazão afluyente bastante variável, dependendo de aspectos como sazonalidade, nível de atividade econômica e tipologia dos clientes atendidos pela ACTIONSHOP. Tomando como base as vazões mínima e máxima discriminadas na Outorga de Lançamento (25 e 30 m³/h, respectivamente), e adotando-se um período de chegada de esgoto bruto de 8 horas diárias (usualmente não há chegada de caminhões entre as 17h de um dia e às 9h do dia seguinte), o tempo de detenção teórico total mínimo e máximo no conjunto de três lagoas é de cerca de 19 e 22,5 dias, respectivamente. Segundo Sperling (2011), um sistema composto por uma lagoa aerada seguida de uma lagoa de decantação pode atingir uma redução de DBO e de coliformes de 90 e 99%, respectivamente, com base em um tempo de detenção de até 7 dias.

O esquema operacional adotado é definido a partir do monitoramento da vazão afluyente e da qualidade do efluente final e da própria experiência e conhecimento adquiridos pelos operadores após vários anos de funcionamento do sistema. De acordo com dados informados



pelos responsáveis pela operação da ETE, os aeradores funcionam alternadamente, tanto na 1ª como na 2ª lagoa. Em função dessa variação de vazão afluyente ao sistema, os aeradores permanecem ligados mais ou menos tempo, sendo o mais comum que metade dos aeradores de cada lagoa operem alternadamente cerca de 50% do dia. O intuito é reduzir o consumo de energia para aeração do processo, o maior responsável pelo custo operacional total do sistema. Quando a vazão afluyente é muito reduzida há a possibilidade de realização de uma variante operacional, baseada em um sistema de recalque/recirculação a partir da última lagoa, que permite retornar parte do efluente para as duas primeiras lagoas da ETE.

A partir de um projeto com a assistência da EMATER/PESAGRO, desde 2015 a ACTIONSHOP utiliza parte de seu efluente tratado para irrigar culturas frutíferas de limão e goiaba em uma área de aproximadamente 4 hectares, situada ao lado das lagoas do sistema de tratamento. O cultivo é realizado sob a forma de “meia” com um agricultor local, sendo parte dessa produção agrícola é comercializada como produtos orgânicos em feiras especializadas, pois possui a certificação da ABIO-RJ, enquanto o excedente é vendido na CEASA. Como apenas uma parcela do efluente tratado da ETE da ACTIONSHOP é reutilizada (cerca de 10% em média) na irrigação das culturas, sua maior parte é lançada no Rio Macacu.

Etapa 2 - Levantamento da legislação, normas e referências quanto a limites e parâmetros de qualidade para reuso rural.

3.1 EM ÂMBITO NACIONAL

Na Resolução do Estado de Minas Gerais (CERH-MG n°65, 2020) o reuso se subdivide em: a) *agrossilvipastoril em categoria “amplo”* que permite fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão; b) *limitado*, análogo à categoria “amplo”, porém sem contato da água com alimento. Outra modalidade importante discriminada é o reuso ambiental para recuperação em áreas degradadas e conservação das florestas, contanto que seja restrito. A legislação do Estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA n° 419, 2020) também estabelece padrões para a água de reuso, dividindo-a em duas categorias. A classe A se refere ao reuso urbano de irrigação em paisagens irrestritas, que são áreas que circulam indivíduos que possam vir a ter contato direto com a água de reuso. Já a classe B corresponde a uma água de reuso de qualidade inferior, destinada à irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, ou seja, locais onde o contato com a população seja insignificante. A legislação do Ceará (COEMA n° 02, 2017) inclui



valores limites para reuso urbano, agrícola, ambiental e aquicultura. Em São Paulo, a legislação estadual (SES/SIMA nº 01, 2020) estabelece duas categorias de água de reuso, sendo uma para uso restrito (classe B), enquanto a outra se destina ao uso irrestrito (classe A).

O PROSAB apresenta recomendações para usos de esgotos sanitários em irrigação agrícola, urbanos e piscicultura. A irrigação se diferencia em: a) irrigação irrestrita (I) superficial ou por aspersor em quaisquer culturas alimentícias, podendo ser consumidas cruas e b) irrigação restrita (R) superficial ou por aspersor em cultura alimento que não seja ingerida crua ou culturas não alimentícias, árvores, forrageiros e pastagens. Nas recomendações da FIESP, o reuso de água é dividido em classes, sendo a Classe 3 aquela referente à irrigação de áreas verdes e jardinagem.

3.2 EM ÂMBITO INTERNACIONAL

Para se dispor de maiores subsídios a realização da presente análise, foi também levantada a legislação pertinente de países que já possuem um histórico/cultura no reuso de efluentes, mais especificamente em fins agrícolas (irrigação): EUA (USEPA), Comunidade Europeia (Parlamento Europeu), Austrália (AGWR) e Israel (Ministério do Ambiente de Israel e Ministério da Saúde de Israel apud CHOUCKRALLAH *et al*, 2013). A classificação do reuso de irrigação da USEPA se subdivide em duas tipologias: a) FC - cultivo de alimento não processado para consumo humano; e b) NFC - cultivo não para consumo humano ou para os alimentos que forem processados antes de serem consumidos.

Na comunidade Europeia (EU), a legislação de qualidade de água de reuso na agricultura é dividida em 4 classes: a) A - uso para culturas consumidas cruas onde alimento comestível tem contato direto com água recuperada (de reuso); b) B e C – uso em culturas alimentares consumidas cruas, onde a parte comestível é produzida acima do solo e não tem contato direto com a água; pode ser aplicado também em culturas alimentares processadas ou culturas não alimentares, animais produtores de leite ou carne; c) D - aplicável nas indústrias, em energia e culturas semeadas.

Quanto a Israel, em 2010 foram promulgadas a *Effluent Quality Standards and Wastewater Treatment Rules*, com parâmetros de qualidade para a descarga em corpos hídricos e para a água de reuso para uso irrestrito na irrigação. Com base nessa legislação, as ETE's de Israel necessitam dispor de melhores tecnologias e de um maior acompanhamento/monitoramento, apresentando dessa forma uma qualidade da água superior,



com uma maior amplitude de culturas que podem ser irrigadas, o que destaca ainda mais Israel no uso da água de reuso para irrigação (CHOUCKRALLAH *et al*, 2013).

Com base nas referências de âmbito nacional e internacional levantadas pela pesquisa, foi realizada uma compilação dos limites e valores recomendados para uso de efluentes sanitários em irrigação e paisagismo (**Tabela 1 e 2**).

Tabela 1: Compilação de limites e valores de referências nacionais para reuso agrícola ou similar.

Parâmetros	Limites e valores recomendados															
	PROSAB		FIESP	SP		MG		Ambiental	RS			CE			CAMPINAS	
	I	R	3	A	B	Amplio	Limitado		A	B	Agropecuário	Urbano	Agrícola	Ambiental	Aquicultura	B
			6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	-	-	6 a 9	6 a 8,5	6 a 8,5	6 a 8,5	6 a 8	-
pH	-	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	-	-	-	-	-	6 a 9	6 a 8,5	6 a 8,5	6 a 8,5	6 a 8	-
Cloro (mg/L)	-	-	< 350 (1) < 100 (2)	≤ 106	≤ 350	-	-	-	-	-	106,5	-	-	-	-	250
Turbidez (UNT)	≤ 5	-	< 5	≤ 2 ≤ 0,2(3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Cor aparente (UH)	-	-	< 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO (mg/L)	-	SR (4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SST (mg/L)	-	SR (4)	< 20	≤ 0,5(3)	≤ 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
SDT (mg/L)	-	-	450 a 1500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade (dS/m)	-	-	0,7 a 3	≤ 0,7	≤ 3	-	-	-	< 3	< 3	-	3	3	3	3	-
Óleos e Graxas (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30 (5) 10(6)	-	-	-	-	-
Cloro Residual (mg/Cl)	-	-	1(1) < 1(2)	≤ 1 ≤ 0,5(3)	≤ 1	-	-	-	< 1	< 1	-	-	-	-	-	< 2(8) < 3(9)
DBO (mg/L)	-	-	< 20	≤ 10	≤ 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
Boro (mg/L)	-	-	0,7(12) 3(13)	≤ 0,7	≤ 2	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-
Ovo helmintos/L	≤ 1	≤ 1	-	< 1	1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	< 1	-	1	1	1 (10)	1	0	< 1
SAR (meq/L)0,5	-	-	3 a 9 (1) ≥ 3 (2)	-	< 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coli Termotolerantes ou E. Coli (1000 NMP/100ml)	≤ 1 (11)	≤ 10(11)	0,2 (12)	0	≤ 0,2 ou ≤ 0,12 (13)	≤ 10	≤ 1000	≤ 1000	< 0,2	< 1	10	5 (11)	1 (10)(11)	10 (11)	1 (11)	0,2
Nitrogênio ou amônia (mg/L)	-	-	5 a 30 (7)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de PROSAB, 2006; FIESP, 2005; SÃO PAULO; NORMATIVA CERH-MG Nº 65, 2020; RESOLUÇÃO COEMA nº 2, 2017; RESOLUÇÃO CONJUNTA SVDS/SMS Nº 09, 2014; . RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 419, 2020; RESOLUÇÃO CONJUNTA SES/SIMA Nº 01, 2020.

Notas: (1) Aspersor; (2) superficial; (3) após a filtração por membrana; (4) Sem recomendação; (5) óleo animal e vegetal; (6) óleo mineral; (7) em forma de nitrogênio total; (8) concentração de cloro livre máxima depois de 30 minutos em contatos com água; (9) concentração de cloro total máxima depois de 30 minutos em contatos com água; (10) não detectável para alimentos consumidas cruas; (11) em CT/100ml; (12) feccais/ 100ml; (13) UFC/100ml.



Tabela 2: Compilação de limites e valores de referências internacionais para reuso agrícola ou similar.

Parâmetros	Valores recomendados							
	AGWR	US EPA		EU				ISRAEL
		NFC	FC	A	B	C	D	
pH	6 a 8,5	6 a 9		-	-	-	-	6,5 a 8,5
Cloro(mg/L de Cl ⁻)	-	-	-	-	-	-	-	250
Turbidez UNT	-	-	2	5	-	-	-	-
DQO [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	100
SST [mg/L]	30	30	-	10	35	-	-	10
SDT [mg/L]	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade (µS/m)	-	-	-	-	-	-	-	1400
Fosfatos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	5
Óleos e Graxas (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloro Residual mg Cl ₂	-	1	1	-	-	-	-	1
DBO	20	30	10	10	25	-	-	10
Boro (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Ovo helmintos/L	-	-	-	-	-	-	-	-
SAR (meq/L) ^{0.5}	-	-	-	-	-	-	-	5
Coli. Fecais UFC/100ml	1000 (1)	200 (2)	0	10	100	1000	10000	10
Nitrogênio ou amônia (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	10

Fonte: Adaptado de AGWR, 2006; USEPA, 2012; *European Parliamentary Research Service*, 2020; Ministério do Ambiente de Israel e Ministério da Saúde de Israel apud CHOUCKRALLAH *et al*, 2013.

Notas: (1) *E.coli*; (2) *C. fecais*;

Comparando-se as normas nacionais e internacionais levantadas podem ser constatados alguns padrões e diferenças. Ausente apenas na legislação da União Europeia, o pH deve estar sempre situado na faixa de 6 a 9. Um parâmetro comum às legislações tanto nacionais como internacionais é o de Coliformes Termotolerantes: o valor mínimo permitido (de zero) para a legislação da USEPA na tipologia FC e do Estado de São Paulo, enquanto que valor máximo (de 1000 UFC/100 mL), se encontra presente na legislação da União Europeia, nas tipologias C e D. Isso ocorre devido às primeiras serem referentes a uma irrigação irrestrita, enquanto que na EU a irrigação não deve possuir contato direto com as culturas a serem consumidas. Podem ser ainda destacados outros parâmetros comuns presentes em boa parte das legislações pesquisadas: DBO, SST e ovos de helmintos, sendo que esse último aparece somente em legislações de âmbito nacional. Constata-se ainda que as legislações do estado de São Paulo (classe A) e a de Israel, bem como as recomendações da FIESP são as normativas que apresentam o maior gama de parâmetros a serem observados.



Etapa 3 – Caracterização da qualidade dos efluentes do sistema em estudo (ETE da ACTIONSHOP):

A Tabela 3 apresenta uma compilação dos resultados das Etapas 3.1 e 3.2. Nas duas primeiras colunas são discriminados os dados referentes à caracterização de qualidade com base nas quatro campanhas de análises feitas por laboratório independente entre janeiro e dezembro de 2017, que foram disponibilizados pela ACTIONSHOP (Efluentes Bruto e Tratado).

Nas quatro últimas colunas são discriminados os dados das análises físico-químicas realizadas no LES entre janeiro de 2018 e dezembro de 2019, incluindo os resultados obtidos posteriormente através do experimento de polimento por filtração em membrana. Dessa forma, configuram-se quatro (4) tipologias distintas de amostras: Afluente Bruto, Efluente Tratado, Efluente Filtrado(pós Pré-filtro) e Efluente Pós Membrana (permeado).

Cabe destacar a existência de distintos parâmetros de monitoramento, dependendo da fonte (ACTION ou LES). No caso da ACTION o foco do monitoramento é o atendimento da legislação ambiental, enquanto que as análises no LES deram ênfase a parâmetros mais relacionados a reuso.

Tabela 3: Compilação dos resultados das análises em laboratório credenciado (ACTIONSHOP) e das análises realizadas no LES.

Parâmetros de monitoramento	Action		LES			
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Pré-filtro	Membrana
pH	8,53	7,45	6,17	7,69	7,45	7,65
Alcalinidade [(mg/L) de CaCO ₃]	NR	NR	626,05	102,93	68,35	59,18
Dureza [(mg/L) de CaCO ₃]	NR	NR	436,49	79,45	1,00	0,92
Cloreto [(mg/L) de Cl ⁻]	NR	NR	199,60	884,45	263,00	245,00
Turbidez UNT	NR	NR	331,17	13,12	3,74	0,04
Cor Verdadeira [uC PtCo]	NR	NR	2724,63	103,45	38,00	41,75
Cor Aparente [uC PtCo]	3115,00	69,48	2901,00	136,42	81,80	34,00
SST ou RFNT[mg/L]	228,14	10,14	405,91	33,74	22,00	NR
SDT [mg/L]	NR	NR	2882,82	1574,24	768,50	NR
Amônia(mg/L)	172,77	2,68	NR	NR	NR	NR
Fósforo Total(mg/L)	5,54	0,69	NR	NR	NR	NR
Surfactantes MBAS(mg/L)	0,98	0,23	NR	NR	NR	NR
Óleos e Graxas(mg/L)	7,87	7,00	NR	NR	NR	NR
Coliformes Fecais (E. Coli)(NMP/100 ml)	NR	2965,83	NR	NR	NR	NR
Coliformes Fecais Totais(NMP/100 ml)	NR	4164,40	NR	NR	NR	NR
DQO(mg/L)	2099,70	93,06	603,35	121,58	43,00	22,67
DBO(mg/L)	639,91	30,13	NR	NR	NR	NR
Condutividade (µS/cm)	NR	NR	3275,00	3119,50	942,00	NR

Fonte: Os Autores, baseado em dados fornecidos pela ACTIONSHOP.

Notas: NR – não realizado; ND – não disponível.



A **Tabela 4** apresenta os resultados de eficiência do tratamento utilizando como base os dados disponibilizados pela ACTIONSHOP, assim como os resultados das análises feitas no LES. As duas primeiras colunas apresentam a eficiência do tratamento para cada parâmetro que foi avaliado. A terceira e última coluna apresenta os resultados de eficiência comparando o efluente bruto com o permeado, ou seja, após passagem pelo sistema de polimento (pré-filtro + membrana).

Tabela 4: Compilação dos resultados das eficiências do tratamento utilizando dados do laboratório credenciado (ACTIONSHOP) e das análises realizadas no LES.

Parâmetros de monitoramento	Action	LES	
	Eficiência do tratamento	Eficiência do tratamento	Eficiência pré-filtro + membrana
pH	NA	NA	NA
Alcalinidade [(mg/L) de CaCO ₃]	NR	83,56%	90,55%
Dureza [(mg/L) de CaCO ₃]	NR	81,80%	99,79%
Cloreto [(mg/L) de Cl ⁻]	NR	-343,11%	-22,75%
Turbidez UNT	NR	96,04%	99,99%
Cor Verdadeira [uC PtCo]	NR	96,20%	98,47%
Cor Aparente [uC PtCo]	97,77%	95,30%	98,83%
SST ou RFNT[mg/L]	95,56%	91,69%	NR
SDT [mg/L]	NR	45,39%	NR
Amônia(mg/L)	98,45%	NR	NR
Fósforo Total(mg/L)	87,55%	NR	NR
Surfactantes MBAS(mg/L)	76,53%	NR	NR
Óleos e Graxas(mg/L)	11,05%	NR	NR
Coliformes Fecais (E. Coli)(NMP/100 ml)	NR	NR	NR
Coliformes Fecais Totais(NMP/100 ml)	NR	NR	NR
DQO(mg/L)	95,57%	79,85%	96,24%
DBO(mg/L)	95,29%	NR	NR
Condutividade (µS/cm)	NR	4,75%	NR

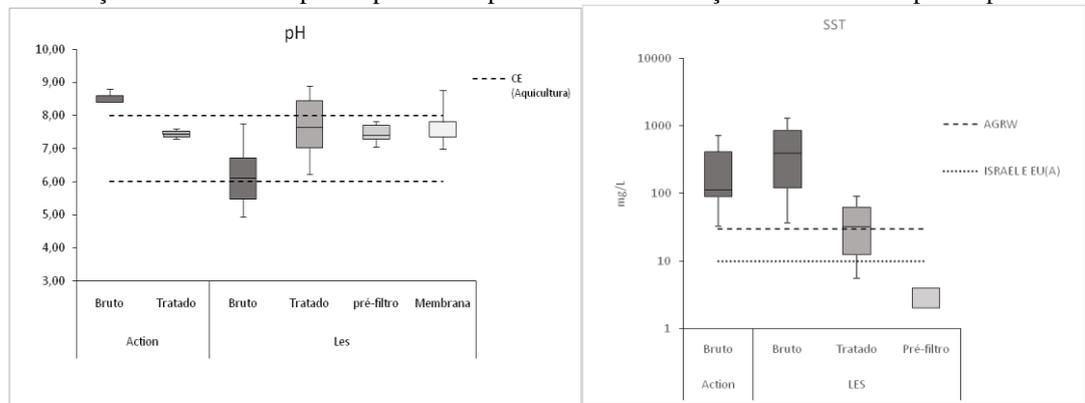
Fonte: Os Autores e baseado em dados fornecidos pela ACTIONSHOP.

Notas: NA - não se aplica; NR – não realizado; ND – não disponível.

Os **Gráficos 1, 2, 3 e 4** apresentam a variação de resultados para os parâmetros pH, SST, Cloretos e Turbidez, obtidos nas análises realizadas pelo laboratório contratado pela ACTIONSHOP (dados secundários) e também naquelas realizadas no LES (dados primários), comparando os resultados com os valores extremos de limites estabelecidos disponíveis nas recomendações e normas pertinentes pesquisadas.

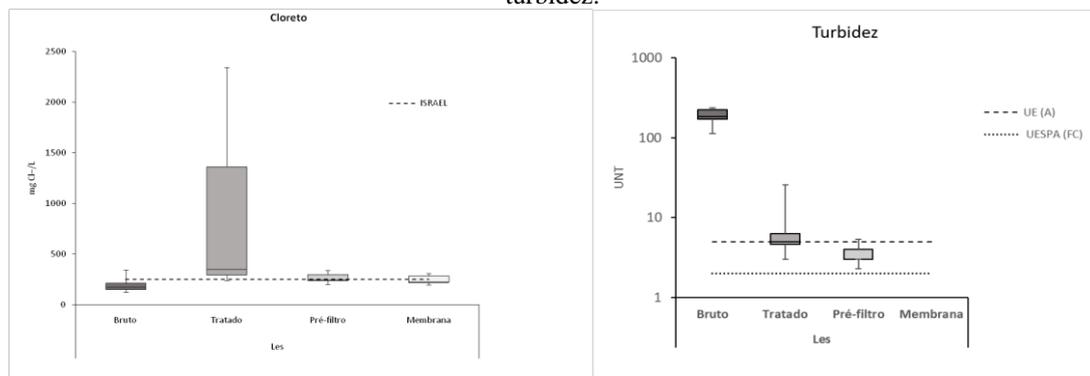


Gráfico 1: Variação dos resultados para o parâmetro pH. Gráfico 2: Variação dos resultados para o parâmetro SST.



Fonte: Os Autores.

Gráfico 3: Variação dos resultados para o parâmetro cloreto. Gráfico 4: Variação dos resultados para o parâmetro turbidez.



Fonte: Os Autores.

Etapa 4 - Análise e discussão dos Resultados

De acordo com os dados de análises disponibilizados pela ACTIONSHOP (dados secundários), o efluente tratado se apresentou sistematicamente em acordo com as condições/limites de lançamento definidos pela legislação estadual pertinente, vigente à época: DZ 215 R-4 (2007) e NT 202 R-10 (1986).

Porém, considerando o objetivo da pesquisa - a pertinência do emprego do efluente tratado para fins de reuso agrícola (irrigação) - foi feita uma análise englobando parâmetros e limites discriminados pelas referências levantadas no trabalho. Pode ser constatado que os parâmetros pH, Amônia, e Óleos e Graxas atendem a todas as legislações e recomendações pesquisadas.

Sem polimento, o importante parâmetro Turbidez não satisfaz as recomendações do PROSAB e da FIESP, e as legislações de SP (categoria Classe A), de Campinas, da USEPA (categoria FC), e da UE (categoria A). Porém, após a passagem pelo sistema de membrana, o



parâmetro Turbidez é atendido em todas as referências pesquisadas. A Cor aparente é um parâmetro que é discriminado apenas nas recomendações da FIESP, não sendo atendido aos limites preconizados tanto nas amostras do efluente tratado como do permeado. Quanto aos Sólidos Suspensos Totais (SST), o efluente tratado não atende aos limites definidos pelas legislações USEPA (NFC), AGRW, EU (classe A) e de Israel, estadual de SP (classes A e B) e municipal de Campinas, além da recomendação da FIESP. Mesmo após o pré-filtro, o efluente continua não atendendo as legislações da UE (classe A) e de Israel, além da estadual de SP (classe A).

Já para os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), o efluente tratado não atende ao valor máximo recomendado pela FIESP. Porém, o efluente após pré-filtro e membrana atende a todas as recomendações e limites definidos pelas referências pesquisadas. Para a Condutividade, o efluente tratado não satisfaz os limites da legislação de Israel, e as dos estados de SP (classe B), RS e CE, bem como não atende ao limite recomendado pela FIESP. Já o efluente após pré-filtro não satisfaz apenas a legislação de São Paulo (classe A).

Considerando o efluente tratado, o parâmetro Cloreto não atende nenhuma legislação de reuso levantada, enquanto que para o efluente permeado ele ainda não atende às recomendações da FIESP e as legislações estaduais de SP (classe A) e do RS. Quanto à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), não são atendidos os limites recomendados pela FIESP, os da legislação estadual de SP (em ambas as categorias) e da legislação municipal de Campinas.

Presente apenas na legislação de Israel, o parâmetro DQO é atendido pelo efluente permeado e também para o efluente tratado, nesse último considerando os resultados da análise do laboratório credenciado pela ACTIONSHOP, porém não sendo atendido se forem considerados os resultados da análise do LES para o efluente tratado. O parâmetro de Coliformes Fecais atende apenas a legislação da União Europeia (classe D).

De uma maneira geral, pode ser constatado que das legislações levantadas apenas a da União Europeia (classe D) é atendida em todos os parâmetros e limites estabelecidos.

Os parâmetros mais críticos e que comprometeram os resultados em termos de não atendimento dos limites e valores recomendados foram: Condutividade, Cloretos e Coliformes Fecais.

Quanto à qualidade obtida pelo permeado após o polimento no sistema pré-filtro/membrana, pode ser constatado uma redução de substâncias poluentes em vários



parâmetros importantes como Turbidez, SST e SDT. Considerando que não foi mais possível determinar o parâmetro de Sólidos Totais (SST + SDT) por sua baixa concentração no permeado, ficou demonstrada a eficiência do processo pela grande redução atingida, se comparado com as suas concentrações desses parâmetros a montante.

Por outro lado, não se constatou grande variação nos parâmetros pH e Cloretos. Com relação a esse último, o resultado é justificado, pois a ultrafiltração não reduz a concentração de sais. Cabe destacar que os valores de Cloretos e pH se apresentaram inferiores aos padrões recomendados pelo Estado do Ceará (aquicultura) em todas as etapas.

Do ponto de vista bacteriológico, a logística disponível para realização de análises no LES não permitiu um maior aprofundamento quanto à verificação da eficiência do polimento na redução de parâmetros importantes como Ovos de Helminhos e Coliformes. A OMS (1989), por exemplo, limita seu valor em até 1.000 CF/100 mL para reutilizar-se o efluente em irrigação irrestrita de culturas cruas. De qualquer forma, sistemas de membranas podem ser consideradas como barreiras confiáveis para remoção de vários patogênicos dos esgotos (KOLEGA, 1991; LAPOLLI, 1998). Analisando um sistema integrado de lagoa aerada e lagoa de maturação, Sperling (2011) sustenta que lagoas de estabilização se configuram como opções bastante confiáveis, seguras e de baixo custo em termos de redução de poluentes, inclusive patogênicos, especialmente em situações onde o tempo de detenção hidráulico no sistema seja longo.

No caso da ETE da ACTIONSHOP, há duas lagoas aeradas, seguidas por uma de decantação e o tempo de residência estimado teórico total mínimo e máximo no conjunto dessas três lagoas é de cerca de 19 e 22,5 dias, respectivamente. Ou seja, bem superiores aos 7 dias discriminados por Sperling (2011), indicando um bom potencial em termos de segurança na geração de efluente tratado de boa qualidade.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De uma maneira geral, pode ser constatado que a maioria dos valores recomendados para reuso em irrigação pelas referências levantadas para os parâmetros analisados e disponíveis é atendida. Com base nos resultados obtidos, depreende-se ainda que agregar uma etapa de ultrafiltração por membrana ao processo é bastante recomendável com vistas a melhoria da qualidade e redução dos riscos do reuso para fins agrícolas e de irrigação.



Apesar de apresentar considerável melhoria de alguns parâmetros, os dados levantados demonstram que o processo de polimento adotado pode ser mais eficiente e confiável, devendo ser planejado considerando também aspectos de grande relevância como o controle de risco para os consumidores e o aumento da produtividade das culturas irrigadas com águas de reuso.

No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos, especialmente as atividades agrícolas que demandam irrigação são grandes consumidoras de água e tendem a ser mais afetadas pela sua escassez.

Iniciativas de reuso de efluentes podem trazer mais segurança hídrica em áreas rurais, atualmente sujeitas a grande estresse hídrico, além de contribuir para a preservação dos mananciais e corpos hídricos.

Com vistas a implementação do reuso para fins agrícolas há porém obstáculos a serem vencidos como: a) muitas áreas rurais ainda não são afetadas por grave escassez hídrica; b) as grandes distâncias para interligação de potenciais fornecedores de água de reuso (ETEs - usualmente situadas em áreas urbanas) aos empreendimentos e consumidores rurais, e b) preço ainda relativamente baixo da água outorgada. A carência de parâmetros e limites mais específicos, especialmente na legislação federal brasileira, dificulta a implementação do reuso pela insegurança jurídica e institucional daí decorrente.

Como restrições da pesquisa, destaca-se que não foi possível realizar análises de parâmetros bacteriológicos como os de Coliformes Fecais e Ovos de helmintos. Estudos e pesquisas futuras devem ser planejados de forma a atender essa lacuna.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.(2017).Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas.Disponível em <http://atlasesgotos.ana.gov.br>.Acesso 10/08/2021.

Bernard,H.,Faber,M.,Wilking,H.,Haller, S.,Höhle, M.,Schielke, A.,Outbreak Investigation Team.(2014). Large multistate outbreak of norovirus gastroenteritis associated with frozen strawberries,Germany,2012. Eurosurveillance, 19(8).

Bila, D. M., Santos, A. S.,Obraczka M e Ohnuma Jr, A. A. (2017). Evaluation of Potential Routes for Wastewater Reuse Management in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. In 11th IWA International Conference on Water Reclamation and Water Reuse.

CEARÁ. (2017). RESOLUÇÃO COEMA nº 2 de 02 de fevereiro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul.

CHOUCKRALLAH, Redouaneh *et al.* (2013). Documentation of best practices in wastewater reuse. Sustainable Water Integrated Management (SWIM).

FUNDAÇÃO COPPETEC; LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE; INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. (2014). Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do RJ.

INEA. (1986). NT-202.R-10 - CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS. Aprovada pela Deliberação CECA nº 1007, de 04 de dezembro de 1986. Publicada no DOERJ de 12 de dezembro de 1986. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/bmvh/mdey/~edisp/inea012974.pdf>. Acesso em 15/08/2021.

INEA. (2007). DZ-215.R-4 – DIRETRIZES DE CONTROLE DE CARGA ORGÂNICA BIODEGRADÁVEL EM EFLUENTES LÍQUIDOS DE ORIGEM SANITÁRIA. . Aprovado pela Deliberação CECA nº 4886, de 25 de setembro de 2007. Republicada no DOERJ de 08 de novembro de 2007. Disponível em: http://www.tesalab.com.br/site/downloads/INEA_DZ-215.pdf.Acesso15/08/2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA(IBGE).Panorama de Cachoeira de Macacu. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/cachoeiras-de-macacu/panorama>. Acesso em 10/08/2021.

Kolega, M., Grohmann, G. S., Chiew, R. F., & Day, A. W. (1991). Disinfection and clarification of treated sewage by advanced microfiltration. Water Science and Technology, 23(7-9), 1609-1618.

Lapolli, F. R., e Campos, J. R. (1998). Biofiltração e microfiltração tangencial para tratamento de esgotos sanitários.



Louzada, I. S. D. B. (2016). Aplicação da água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe.

Ludwig, R., Putti, F. F., e Brito, R. R. de. (2012). Revisão Sistemática sobre o Uso de Efluentes na Agricultura. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, 8(6). <https://doi.org/10.17271/19800827862012313>

Mäde, D., Trübner, K., Neubert, E., Höhne, M., Johne, R. (2013). Detection and typing of norovirus from frozen strawberries involved in a large-scale gastroenteritis outbreak in Germany. *Food and environmental virology*, 5, 162-168.

MINAS GERAIS. DELIBERAÇÃO NORMATIVA CERH-MG N° 65, de 18 de junho de 2020. (2020). Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reuso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. *Diário Oficial de MG*, pág.10.

MOTA, S. Reúso de águas. Academia Cearense de Engenharia. 2016

Natural Resource Management Ministerial Council; Environment Protection and Heritage Council; Australian Health Ministers Conference. AUSTRALIAN GUIDELINES FOR WATER RECYCLING (AGWR): Managing Health and Environmental Risks (Phase1). (2006). Web copy: ISBN 1 921173 06 8. Disponível em <https://www.awa.asn.au/Documents/water-recycling-guidelines-health-environmental-21.pdf>

Obraczka, M., Campos, A.; Faria, A.; Rosario, D. (2019). Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reuso em áreas urbanas. Congresso ABES FENASAN.

Pérez-Sautu, U., Costafreda, M. I., Lite, J., Sala, R., Barrabeig, I., Bosch, A., & Pintó, R. M. (2011). Molecular epidemiology of hepatitis A virus infections in Catalonia, Spain, 2005–2009: circulation of newly emerging strains. *Journal of clinical virology*, 52(2), 98-102.

PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. (2006). Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf. Acesso em: 20 jun. 2021.

RIO GRANDE DO SUL. RESOLUÇÃO CONSEMA N° 419 de 13 de fevereiro de 2020. (2020). Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de reuso para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais no Estado do Rio Grande do Sul. *Diário Oficial do Estado RS*. Sano, D., Amarasiri, M., Hata, A., Watanabe, T., & Katayama, H. (2016). Risk management of viral infectious diseases in wastewater reclamation and reuse. *Environment International*, 91, 220-229.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE; INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE; COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS; AGÊNCIA REGULADORA DE ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E DO COMITÊ

DA BAÍA DE GUANABARA. (2012).Plano Municipal de Saneamento Básico - Água e esgoto de Cachoeiras de Macacu,RJ.

Von Sperling, M. (2011). Introdução à Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgotos, Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Editora UFMG; 4ª edição

Terio, V., Bottaro, M., Di Pinto, A., Catella, C., Chironna, M., Bozzo, G., ... & Martella, V. (2015). Outbreak of hepatitis a in Italy associated with frozen redcurrants imported from poland: A case study. Food and environmental virology, 7, 305-308.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. (2004). Guidelines for water reuse. Washington DC: USEPA.