



**ISABELA LIMA DE ALCANTARA FERREIRA**

**REÚSO DO ESGOTO TRATADO EM UM SISTEMA PILOTO:  
POSSIBILIDADE DE APROVEITAMENTO AGRÍCOLA E  
URBANO**

**LAVRAS-MG**

**2023**

**ISABELA LIMA DE ALCANTARA FERREIRA**

**REÚSO DO ESGOTO TRATADO EM UM SISTEMA PILOTO:  
POSSIBILIDADE DE APROVEITAMENTO AGRÍCOLA E  
URBANO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Ronaldo Fia

Orientador

**LAVRAS-MG**

**2023**

## RESUMO

Devido ao aumento da população e por consequência a crescente poluição das águas e demanda pela mesma, a qualidade e quantidade de água disponível torna-se cada vez mais relevante. A qualidade da água está associada a ações antrópicas relacionadas com o uso e descarte de forma incorreta e sem tratamento. Entre estas ações, a falta de saneamento básico tem se tornado cada vez mais relevante na poluição das águas. O tratamento adequado para o esgoto doméstico é essencial para a diminuição dos níveis de poluição, incluindo o tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, capaz de remover altas taxas de cargas de nutrientes. Apesar dos problemas que são enfrentados se tratando de nutrientes no esgoto doméstico, quando se refere ao reúso, esses componentes são vantajosos, principalmente se tratando de irrigação e piscicultura. O potencial de reúso do esgoto doméstico é grande, pois conserva os recursos naturais, diminui a demanda por captação, contribui para a redução da escassez de água. Tem-se como objetivo avaliar a qualidade do esgoto sanitário da UFLA, tratado por um sistema experimental composto por sistema preliminar de tratamento, com peneira grossa e fina, medidor de vazão e caixa de gordura, tanque de equalização (TEq), reator de manta de lodo com fluxo ascendente(RAFA), filtro biológico aerado submerso (FBAS), decantador secundário e sistema alagado construído(SAC), com vistas às diferentes possibilidades de utilização no campus universitário e avaliar os valores de coliformes termotolerantes e sódio do esgoto tratado da estação de tratamento da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), composta por gradeamento fino e grosso, caixa separadora de gordura e caixas distribuidoras de vazão, reatores anaeróbios de manta de lodo(UASB), filtros rápidos de areia descendentes(FRD), sistemas de desinfecção rápida por radiação ultravioleta e por cloração, para o lodo filtros prensa e sistema gerador de energia elétrica movido a biogás. A metodologia aplicada foi a avaliação dos dados coletados por Lima (2019) e por Silva, Oliveira e Fia (2019) comparando os valores da disponíveis pela ABNT através da NBR 13.969 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº65/2020. Diante dos valores estudados neste trabalho, o esgoto tratado pelo sistema experimental, pode ser aplicado em atividades agrossilvopastoris, desde que haja a desinfecção e se comprove a redução dos valores de coliformes termotolerantes, além de serem observadas restrições de acesso ao ambiente utilizado para o reúso. Para o reúso urbano, apresenta maiores limitações, sendo necessário avaliar as características do efluente, após a desinfecção, e então estabelecer os locais que poderá ser usado.

Palavras-chave: reúso de água, ETE-UFLA, reúso urbano, reúso agrícola.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>5</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
3.1 Águas residuárias: Impactos ambientais e tratamento	5
3.2 Escassez hídrica e a necessidade de reúso	7
3.3 Aproveitamento de recursos do saneamento	8
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>9</b>
4.1 Localização experimental	10
4.2 Descrição do sistema experimental de tratamento de esgoto sanitário da UFLA	10
4.3 Monitoramento e execução das análises	13
4.4 Resultados observados para o efluente tratado durante a realização do experimento	13
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>17</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>23</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Associadas ao aumento da população estão a crescente demanda pela água e a poluição dos recursos hídricos. A qualidade e poluição das águas são resultados das ações antrópicas que utilizam a água e a devolvem ao ambiente sem tratamento. Entre estas ações, a falta de saneamento básico tem se tornado cada vez mais relevante na poluição das águas.

A cobertura de esgotamento sanitário no Brasil corresponde a 55% da população total, e para a população urbana essa porcentagem é de 63,2%, ou seja, pouco mais da metade da população brasileira possui rede coletora de esgoto (SNIS, 2021). A quantidade da população com esta cobertura e a qualidade desse serviço afeta diretamente a saúde pública do país, visto que o abastecimento com água tratada diminui a incidência de doenças de veiculação hídrica. Porém, para que seja eficaz, é necessário também que o serviço de saneamento básico conte com o tratamento adequado para o esgoto.

Para a diminuição da poluição das águas causadas pelo esgoto doméstico, é necessário que a coleta e tratamento eficaz alcance a totalidade das áreas urbanas e rurais do país, evitando o lançamento do esgoto bruto em corpos d'água causando contaminação. Como resultado do lançamento inadequado do esgoto sem tratamento estão a redução de oxigênio dissolvido nas águas, pelo excesso de matéria orgânica, que também altera o odor e gosto nas fontes de abastecimento de água para a população e inviabiliza a vida aquática; e o aumento na concentração de nutrientes, que leva à eutrofização dos corpos d'água. Para melhorar o cenário da poluição e as variáveis de qualidade, é necessário o tratamento correto, incluindo as etapas secundárias e terciárias em sistemas de tratamento de esgoto. Os nutrientes mais presentes em águas residuárias são o nitrogênio e fósforo, que são de difícil remoção no tratamento biológico tradicionalmente utilizado nas estações de tratamento de esgoto.

A remoção desses nutrientes pode ser feita ainda por processos químicos ou biológicos, utilizando o tratamento terciário, que possui como objetivo a remoção dos poluentes mais específicos e a remoção complementar do que não foi possível no tratamento secundário. Entretanto, na maioria das estações, quando presente, o tratamento terciário é utilizado apenas para remoção de patógenos.

Apesar dos problemas enfrentados pela presença dos nutrientes no esgoto, esses compostos podem ser vantajosos para o reúso da água, principalmente quando se trata de irrigação e piscicultura, já que esses nutrientes são fundamentais para o crescimento das plantas e animais.

Além do aproveitamento dos nutrientes, no cenário atual, o tratamento dos esgotos para o aproveitamento da água se tornou de grande relevância considerando a demanda pelos recursos hídricos. O potencial do reúso de esgoto doméstico é grande, pois conserva os recursos naturais, diminui a demanda por captação de água e contribui para a redução da escassez de água. O uso do esgoto tratado pode se dar no meio urbano, como na limpeza de ruas e irrigação de áreas gramadas; na indústria, nas atividades em que há demanda por água de menor qualidade; e na agricultura com o aproveitamento da água, matéria orgânica e nutrientes.

Neste contexto, na Universidade Federal de Lavras (UFLA), possui uma demanda por água de boa qualidade crescente, tendo em vista o aumento da população universitária. A instituição capta a água de barramentos dentro do campus, e de poços, faz o tratamento e distribui à população universitária. Os esgotos são coletados e tratados em estação de tratamento de efluentes (ETE-UFLA), que conta com tratamento terciário, instalada no campus da instituição. Para minimizar a retirada de água dos mananciais superficiais e subterrâneos, e aproveitar a capacidade de tratamento da ETE-UFLA em nível terciário, é importante a avaliação da qualidade do esgoto sanitário tratado na UFLA, sendo representado através do esgoto tratado pelo sistema experimental, para verificar a viabilidade de ser utilizado para diferentes fins dentro do campus universitário, principalmente para limpeza de vias, irrigação de áreas verdes e no cultivo agrícola.

## **2. OBJETIVO**

Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do esgoto sanitário da UFLA, tratado por um sistema experimental composto por sistema preliminar e secundário de tratamento com vistas às diferentes possibilidades de utilização no campus universitário.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 Águas residuárias: Impactos ambientais e tratamento**

Águas residuárias são aquelas que após a utilização, possuem suas características naturais alteradas de acordo com o seu uso, podendo ser doméstico, industrial ou comercial. Conhecidas popularmente também como esgotos, são devolvidas ao ambiente após seu uso, e deve seguir um tratamento adequado para que a disposição seja feita de forma a reduzir os danos ambientais causados no lançamento. Em muitos países, como Índia, Espanha e Brasil, a utilização de águas residuárias tratadas apresenta grande potencial, visto que apresenta

benefícios ambientais e econômicos (PEREIRA et al., 2011; SOUZA et al., 2015; MISHRA; KUMAR; KUMAR, 2023).

Devido ao crescimento da população e a maior demanda por água, os rios têm perdido a capacidade de diluição e depuração dos esgotos lançados, em que o próprio curso d'água era capaz de minimizar os danos causados pelas alterações consequentes dos lançamentos devido às menores quantidades de esgotos e maiores disponibilidades hídricas. Para minimizar os impactos ambientais, é necessário atender ao padrão de lançamento de efluentes, estabelecido pela Resolução nº430, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011). Na Resolução CONAMA nº357, os corpos hídricos são classificados de acordo com a sua qualidade e seus futuros usos, e deve ser considerada quando da disposição de efluentes tratados em cursos d'água (BRASIL, 2005). No estado de Minas Gerais, os padrões de lançamento e qualidade das águas são estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº08 (MINAS GERAIS, 2022).

Para atender aos padrões de lançamento exigidos, é necessário tratar o esgoto adequadamente, visto que após o lançamento nos corpos d'água, a reutilização dessa água pode acontecer de forma indireta e não planejada, com a captação para o abastecimento público à jusante do lançamento. A reutilização de águas residuárias que não possuem o tratamento adequado, pode ser prejudicial à saúde pública, devido aos compostos químicos e microrganismos patogênicos como as bactérias, vírus, protozoários e helmintos, que estão presentes nas águas residuárias, assim como podem apresentar consideráveis níveis de íons dissolvidos, como o sódio, boro e cloretos (KOUL et al., 2022).

O tratamento convencional para esgotos domésticos, composto por unidades preliminares, primárias e secundárias, é considerado suficiente quando se trata da possibilidade de reutilização de forma indireta. Porém, não conseguem remover completamente os componentes presentes nas águas residuárias, principalmente aqueles que demandam por tratamento terciário como os nutrientes e os patógenos. Na etapa terciária são removidos os componentes como metais pesados, compostos orgânicos e microrganismos patogênicos, tornando a qualidade da água adequada para o reúso de forma direta ou indireta. Seguindo essa prática e os padrões de qualidade permitidos, é possível aumentar a disponibilidade de água, principalmente para suprir demandas industriais, domésticas e da agricultura (TORTAJADA, 2020; ZAGKLIS; BAMPOS, 2022).

### 3.2 Escassez hídrica e a necessidade de reúso

A disponibilidade hídrica se resume como condição básica para a sobrevivência e bom funcionamento do planeta e das espécies, como também é fator importante para o desenvolvimento econômico e social dos países. O aumento da população junto com a poluição hídrica gera em diversas partes do mundo a falta de água de boa qualidade para atender as demandas básicas. Além disso, a distribuição de água por região e sua população, fazem com que a disponibilidade seja desproporcional à demanda do local. Grandes populações vivem em regiões com alta precipitação pluviométrica, como também podem estar localizadas em regiões caracterizadas como semiáridas, com reduzido o acesso à água. De 26 países, 262 milhões de pessoas vivem em zonas com escassez de água, e essas zonas apresentam altos índices de crescimento populacional.

O Brasil, apesar de dispor de grande quantidade de água doce, tem uma distribuição irregular entre as regiões. Tradicionalmente, a região nordeste do Brasil tem menor disponibilidade hídrica (NASCIMENTO; BORGES; MELO, 2023).

Com a crescente dificuldade de atender a demanda cada vez maior por água, o reúso surge como uma alternativa favorável ao abastecimento após o tratamento convencional da água. O reúso é capaz de minimizar a degradação dos mananciais, causada pelo despejo direto das águas residuárias (PHILIPPI JR et al., 2004; BERTONCINI, 2008). Para as definições e possibilidades de reúso, a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989) classifica o reúso em:

- a) Reúso indireto não planejado: utilização da água em atividades humanas que são lançadas ao meio ambiente, onde de forma diluída são utilizadas. Se caracteriza pela utilização de forma não intencional e sem controle, estando sujeitas a autodepuração;
- b) Reúso indireto planejado: após o tratamento convencional são lançados nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para o uso a jusante, mas de forma controlada e intencional;
- c) Reúso direto planejado: os efluentes após o tratamento, é lançado diretamente no local que será reutilizado, e em sua grande maioria são destinados para a indústria ou irrigação;
- d) Reciclagem de água: é caracterizada pelo reúso interno da água, ou seja, funciona como fonte suplementar de abastecimento ao uso original, antes de ser direcionado para o sistema de tratamento. É um caso de reúso direto planejado.

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92, é que foi dado um enfoque maior para o reúso e suas

aplicações no Brasil. Em seguida, obteve resultados na Agenda 21, que foi denominado Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, com objetivos básicos para a criação e ampliação de sistemas nacionais de reciclagem e reúso de águas residuárias (HESPANHOL, 2008; BERTONCINI, 2008).

No Brasil, o reúso ainda não é muito amplo, encontrando algumas dificuldades para o seu desenvolvimento. Apesar de ser possível encontrar algumas normativas, leis e padrões de qualidade para essas águas, a maioria não abrange o nível nacional, acompanhando as legislações e normativas dos estados.

O estado do Rio Grande do Sul, possui a Resolução CONSEMA nº 419, que considera a necessidade de critérios para regular e estimular a prática de água de reúso no estado. Nela consta que para o reúso urbano, os valores de condutividade elétrica deve ser menor que 3 dS m<sup>-1</sup>, e para o reúso agrícola ou florestal, os valores de pH devem estar entre 6 e 9, e para nitrogênio total, fósforo total e potássio a concentração deve ser calculada a partir do cálculo da taxa de aplicação, variando para cada situação, sendo que a carga aplicada pela água de reúso, de cada elemento, não ultrapasse as recomendações de adubação para a cultura (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos recomenda para o reúso urbano, amplo ou limitado, os valores de referência para o pH entre 6 e 9, e valores  $\leq 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> de coliformes termotolerantes ou E. coli para o reúso amplo e valores  $\leq 10^6$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> para o reúso limitado (MINAS GERAIS, 2020).

Em âmbito nacional, a ABNT dispõe da NBR 13.969, que divide as águas para reúso em 4 classes diferentes de acordo com o uso desejado, sendo a classe 1 mais exigente em termos de qualidade, para uso na lavagem de veículos, por exemplo, até a classe 4 menos exigente, para disposição no solo.

### **3.3 Aproveitamento de recursos do saneamento**

A elevada demanda por água, principalmente no setor da irrigação, onde são gastos cerca de 70% da água doce disponível no mundo, agrava o problema de escassez que é enfrentado em diversas partes do mundo. Cidades periféricas e regiões semiáridas vêm sofrendo fortemente por não serem capazes de atender a demanda por esse recurso nas diversas necessidades por água de qualidade. Como alternativa de sobrevivência de agricultores nas regiões que mais sofrem com a falta de água, se tem o reúso direto e indireto de esgotos domésticos tratados. A reutilização pode estar associada às diversas atividades e setores, como

a irrigação de culturas que necessitam de água de melhor qualidade (FUKASAWA; MIERZWA, 2020; ROGY et al., 2022).

Outra forma de reutilização é o aproveitamento das águas cinzas, aquelas provenientes do uso em banheiras, chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa que, após tratamento simplificado na própria residência, podem ser utilizadas para descargas de vasos sanitários, lavagem de pátios e automóveis e em jardinagem (VAN DE WALLE, et al. 2023).

Para a fertirrigação, uma prática em que a disposição das águas residuárias no solo ocorre após o tratamento, o objetivo principal do reúso se caracteriza pelo aproveitamento dos nutrientes que estão presentes no efluente. Assim, ocorre o aproveitamento da água e dos nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), necessários ao desenvolvimento das plantas. Esse aproveitamento de nutrientes é capaz de aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos, e para o solo promove características químicas, biológicas e físicas melhores (MATOS, 2005).

Freitas et al. (2005) notaram que ao utilizar águas residuárias de suinocultura para o cultivo de milho, a produtividade se tornou maior que aquelas obtidas em plantas tratadas e fertirrigadas com água e nutrientes minerais. Em águas residuárias da suinocultura, um terço de fósforo, dois terços de nitrogênio e quase todo o potássio estão na forma para serem assimilados imediatamente pelas plantas, justificando então a maior absorção dos nutrientes e melhor qualidade e produção (GOMES FILHO et al., 2001). Na fertirrigação de beterraba, utilizando efluentes de dejetos de suínos tratados, apresentou alto teor de NPK para a planta, aumentando também a produção de raízes nessa cultura seguindo a irrigação com adubação química recomendada (HUSSAR et al., 2005).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

Foram objeto de estudos os dados experimentais obtidos por Lima (2019) e por Silva, Oliveira e Fia (2019) que trataram o efluente sanitário da UFLA. No presente trabalho, explorou-se os dados sob a ótica da possibilidade de utilização do efluente sanitário da UFLA em atividades desenvolvidas no campus universitário,

### **4.1 Descrição do sistema experimental de tratamento de esgoto sanitário**

Por meio dos dados do experimento realizado por Lima (2019), no qual foram utilizados efluentes sanitários da universidade após serem passados pelo sistema preliminar de tratamento: peneira grossa com 2 cm nos orifícios, peneira fina com 0,5 cm nos orifícios,

medidor de vazão e a caixa de gordura, que foram bombeados para a um tanque de equalização (TEq), feito com fibra de vidro e com capacidade para 310 litros. Saindo do TEq, foi encaminhado continuamente para o reator de manta de lodo com fluxo ascendente (RAFA), através da bomba dosadora. Por gravidade, direcionado para o filtro biológico FBAS, para o decantador secundário (SD) e o sistema alagado construído (SAC) (Figura 1). Todos os reatores foram confeccionados em fibra de vidro, sendo submetidos às variações climáticas, em local aberto.

Figura 1: Sistema de tratamento de esgoto com reator TEq (1), RAFA (2), FBAS (3), DS (4) e SAC (5), localizado na ETE-UFLA, usados para o experimento do tratamento do esgoto sanitário da UFLA.



Fonte: Lima (2019).

Os resultados observados por Lima (2019) no efluente dos diferentes reatores estão apresentados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

Tabela 1. Valores de média (Méd) de pH seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB			FBAS			Decantador			SAC		
	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn
FASE I	8,16	± 0,25	8,16 BC	7,05	± 1,05	7,06 B	6,78	± 1,14	6,70 B	7,24	± 0,67	7,31 B
FASE II	8,08	± 0,16	8,10 B	6,33	± 1,18	6,00 B	6,06	± 1,36	5,57 B	7,13	± 0,57	7,15 B
FASE III	8,13	± 0,34	8,25 B	6,79	± 1,04	6,64 B	6,81	± 1,03	6,67 B	7,07	± 0,46	6,87 B
FASE IV	8,36	± 0,11	8,34 A	8,41	± 0,14	8,42 A	8,49	± 0,16	8,52 A	8,29	± 0,25	8,30 A
FASE V	8,69	± 0,77	8,80 A	8,96	± 0,31	8,84 A	9,00	± 0,27	8,94 A	8,99	± 0,30	8,99 A

Fase (1) média composta por 37 dados; Fase (2) média composta por 18 dados; Fase (3) média composta por 20 dados Fase (4) média composta por 21 dados Fase (5) média composta por 20 dados \* Teste Estatístico não paramétrico de *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, Teste estatístico não significante a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade.

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Tabela 2. Valores de médios (Méd) de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB			FBAS			Decantador			SAC		
	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn
FASE I	150	± 65	125 A	127	± 63	117 A	113	± 60	103 A	88	± 51	83 A
FASE II	194	± 45	118 A	115	± 41	88 A	93	± 26	75 A	77	± 10	43 A
FASE III	125	± 180	63 A	87	± 114	47 A	78	± 86	47 A	54	± 57	32 A
FASE IV	165	± 55	150 A	87	± 39	83 A	68	± 42	55 A	40	± 22	37 A
FASE V	103	± 49	88 A	77	± 39	65 A	48	± 29	33 A	44	± 23	43 A

Fase (1) média composta por 37 dados; Fase (2) média composta por 18 dados; Fase (3) média composta por 20 dados Fase (4) média composta por 21 dados Fase (5) média composta por 20 dados \* Teste Estatístico não paramétrico de *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, N.S Teste estatístico não significante a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade. Concentrações em mg L<sup>-1</sup>.

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Tabela 3. Valores de médios (Méd) de demanda química de oxigênio (DQO) seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB			FBA's			Decantador			SAC		
	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn
FASE I	845	± 362	814 A	811	± 413	868 A	760	± 180	762 A	109	± 178	106 A
FASE II	864	± 173	843 A	706	± 182	711 A	591	± 182	559 A	54	± 18	43 B
FASE III	928	± 307	967 A	718	± 210	679 A	577	± 208	561 AB	73	± 20	72 AB
FASE IV	832	± 155	783 A	663	± 133	671 A	455	± 121	443 AB	55	± 16	51 B
FASE V	915	± 185	823 A	726	± 184	663 A	543	± 172	457 B	60	± 13	60 B

Fase (1) média composta por 37 dados; Fase (2) média composta por 18 dados; Fase (3) média composta por 20 dados Fase (4) média composta por 21 dados Fase (5) média composta por 20 dados \* Teste Estatístico não paramétrico de *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, N.S Teste estatístico não significativa a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade. Concentrações em mg L<sup>-1</sup>,

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Tabela 4. Valores de médios (Méd) de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST) seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB				FBAS				DS				SAC				
	ST		SS		ST		SS		ST		SS		ST		SS		
	Méd.	D P	Méd.	D P	Mn	Mn	Méd.	D P	Méd.	D P	Mn	Mn	Méd.	D P	Méd.	D P	Mn
FASE I	474 ± 142	71±114	443 A	45 A	555 ± 134	352 ± 183	528 A	55 A	561 ± 242	73±230	533 A	33 A	513 ± 155	46±160	510 A	62 B	
FASE II	412 ± 158	84±136	194 AB	47 A	462 ± 120	251 ± 104	160 AB	29 A	461 ± 110	31±60	244 AB	28 A	356 ± 131	90±111	340 B	84 B	
FASE III	366 ± 98	66±56	375 B	40 A	524 ± 131	328 ± 72	513 AB	67 A	520 ± 128	83±113	545 AB	46 A	439 ± 120	204±87	423 A	200 A	
FASE IV	516 ± 188	48±100	272 A	75 A	458 ± 125	152 ± 77	199 BC	64 A	439 ± 69	12±120	140 AB	40 A	412 ± 71	303±77	405 A	299 A	
FASE V	456 ± 131	65±120	209 AB	75 A	402 ± 101	105 ± 28	118 C	79 A	385 ± 88	40±56	105 B	37 A	369 ± 93	287±87	373 B	293 A	

Fase (1) média composta por 37 dados; Fase (2) média composta por 18 dados; Fase (3) média composta por 20 dados Fase (4) média composta por 21 dados Fase (5) média composta por 20 dados \* Teste Estatístico não paramétrico de *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, N.S Teste estatístico não significativa a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade. Concentrações em mg L<sup>-1</sup>.

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Tabela 5. Valores de médios (Méd) de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB			FBA's			Decantador			SAC		
	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn
FASE I	34,9	± 9	34,65 AB	13,5	± 12	9,24 B	12,2	± 12	8,47 B	6,9	± 6	4,62 B
FASE II	28,2	± 4	29,26 B	11,4	± 6	10,01 AB	7,2	± 4	5,39 B	4,2	± 3	4,62 AB
FASE III	34,2	± 8	34,65 AB	22,1	± 7	23,87 A	13,5	± 5	14,63 AB	5,6	± 3	5,39 AB
FASE IV	43,0	± 7	42,735 A	34,4	± 6	34,65 A	26,3	± 5	26,18 A	14,9	± 6	13,86 A
FASE V	36,5	± 5	36,96 AB	29,8	± 6	27,72 A	26,0	± 5	27,72 A	14,5	± 6	11,55 A

Fase (1) média composta por 18 dados; Fase (2) média composta por 10 dados; Fase (3) média composta por 9 dados Fase (4) média composta por 10 dados Fase (5) média composta por 10 dados  
 \* Teste Estatístico não paramétrico de *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, N.S Teste estatístico não significativo a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade. Concentrações em mg L<sup>-1</sup>.

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Tabela 6. Valores de médios (Méd) de fósforo total (PT) seguidos do desvio padrão (DP) e da mediana (Mn) observados no efluente dos diferentes reatores das cinco fases experimentais.

FASES	UASB			FBA's			Decantador			SAC		
	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn	Méd	DP	Mn
FASE I	6,8	± 2	6,72 A	6,2	± 1	6,19 AB	6,3	± 2	5,99 A	3,6	± 1	4,21 A
FASE II	6,4	± 1	6,81 A	5,1	± 1	5,13 AB	4,7	± 1	5,11 A	4,2	± 0,7	4,16 A
FASE III	5,3	± 1	5,78 A	4,2	± 1	4,22 B	4,6	± 1	4,28 A	3,7	± 1	3,19 A
FASE IV	6,3	± 1	5,99 A	5,4	± 1	5,23 AB	4,7	± 0,8	4,61 A	4,8	± 1	5,23 A
FASE V	7,1	± 2	7,06 A	5,7	± 2	5,46 AB	5,2	± 2	5,11 A	4,6	± 1	5,05 A

Fase (1) média composta por 15 dados; Fase (2) média composta por 10 dados; Fase (3) média composta por 10 dados Fase (4) média composta por 11 dados Fase (5) média composta por 11 dados  
 \* Teste Estatístico não paramétrico *Kruskal Wallis com significância nível de 5 %*, N.S Teste estatístico não significativo a nível de 5 %. Mesma letra não diferem significativamente entre fases. Letras Diferentes, diferem entre fases dentro da mesma unidade. Concentrações em mg L<sup>-1</sup>.

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

## **4.2 Descrição da Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA)**

Utilizou-se como resultado do sódio e coliformes termotolerantes os resultados observados por Silva, Oliveira e Fia (2019), que monitoraram a qualidade do efluente tratado na ETE-UFLA. A ETE-UFLA é composta por tratamento preliminar com peneiramento grosso e fino, medidor de vazão tipo calha Parshall, caixa de gordura e a estação elevatória; no tratamento secundário possui reatores anaeróbios de fluxo ascendente - UASB seguidos por filtros aerados submersos (FBAS) e filtros de areia, e como tratamento terciário a desinfecção que é realizada por cloração e radiação ultravioleta.

Os dados observados por Silva, Oliveira e Fia (2019), e que são de interesse para o presente trabalho, foram descritos ao longo do item resultados e discussão.

## **4.3 Análise dos dados**

Com base nos resultados obtidos por Lima (2019) e por Silva, Oliveira e Fia (2019) foi realizada a comparação com os valores de referência apresentados no NBR 13.969 (ABNT, 1997) e na Deliberação Normativa CERH n°65 (MINAS GERAIS, 2020) para as variáveis pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total (PT), sódio, cálcio e magnésio e coliforme termotolerantes.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados observados por Lima (2019) após o tratamento do esgoto sanitário da UFLA em diferentes reatores foram discutidos quanto à possibilidade de utilização em diferentes oportunidades dentro do campus da UFLA, com base nas normativas vigentes ABNT (1997) e Minas Gerais (2020).

Nota-se na Tabela 1 que, em relação ao pH do esgoto sanitário da UFLA, os valores médios não interferem nas diferentes formas possíveis de reúso após as diferentes unidades de tratamento. A NBR 13.969 não apresenta valores de pH para as diferentes classes de qualidade de reúso. Por ser uma norma destinada a normatizar o reúso de esgoto doméstico, ou efluentes com características similares, não há restrição quanto aos valores de pH. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°65/2020 estabelece que o monitoramento do pH no

efluente a ser utilizado deve ser semanal, e valores entre 6 e 9 para os diferentes tipos de reúso estabelecidos na norma.

Em relação à matéria orgânica, quantificada como DBO e DQO (Tabelas 2 e 3), não há impeditivo de valores em relação ao reúso agrossilvopastoril. Evidencia-se aqui que esta forma de reúso se beneficia da matéria orgânica presente no efluente, em termos de melhoria das condições biológicas, químicas e físicas do solo (SILVA JÚNIOR et al., 2019; CORRÊA et al., 2021). Desta forma, para a utilização do efluente, apenas o tratamento secundário anaeróbio no UASB, diante das condições avaliadas, seria suficiente para a disposição no solo, seguindo critérios técnicos para minimizar impactos ambientais negativos.

No entanto, para a utilização para fins urbanos, os maiores valores de matéria orgânica tornam-se um empecilho, por isso, para esta finalidade, a recomendação seria a utilização do efluente após o tratamento no sistema alagado construído, com valores médios de DBO e DQO inferiores a 90 e 110 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

A DN COPAM/CERH n°65 e a NBR13.969 (1997) não estabelecem como critério de reúso concentrações de DBO e DQO no efluente. Entretanto, de forma indireta, a NBR estabelece valores de turbidez inferiores a 5 e a 10 uT, dependendo da classe para reúso. E estes valores reduzidos de turbidez não são compatíveis com valores elevados de matéria orgânica no efluente. Fato sobre o qual deve se considerar que os valores de matéria orgânica devem ser reduzidos no efluente que será utilizado para o reúso urbano.

De forma semelhante à matéria orgânica, os quantitativos de sólidos totais e suspensos não são critério para reutilização de efluentes. Entretanto, estas variáveis interferem diretamente no manejo dos efluentes para a disposição no solo via fertirrigação. Sólidos em suspensão podem dificultar o processo de aplicação de efluentes de forma localizada, causando obstrução de emissores. E os sólidos dissolvidos podem promover a obstrução por precipitação química ou ainda devido à formação de biofilme (AL-MEFLEH; TALOZI; NASSER, 2021).

Na Tabela 4 nota-se que o efluente do SAC, em algumas fases, apresentou maiores valores de SS, provavelmente, devido ao arraste de material sedimentado na unidade de tratamento, pelo aumento repentino de vazão, ou ainda em termos de manutenção da espécie vegetal, que pode liberar detritos para o meio. Assim, o efluente do DS apresentou melhor condição para a aplicação no solo via irrigação localizada, em que, em média, 10% dos sólidos totais estavam na forma suspensa, e a maior parte na forma dissolvida. Mas, mesmo assim, seria recomendado o uso de um sistema de filtração (filtro de areia, tela ou disco) para aumentar a vida útil do sistema de aplicação localizada, se esta fosse a forma de aplicação escolhida (DURAN-ROS et al., 2022).

Apesar de o SAC no presente trabalho ter produzido maiores quantidades de sólidos, Silva et al. (2017) concluíram que pH, sólidos suspensos, ferro total e coliformes totais dos efluentes tratados em SAC e em UASB seguido de SAC representaram risco de entupimento dos gotejadores. Entretanto, a uniformidade de aplicação em gotejamento superficial e subsuperficial foi classificada como excelente quando da aplicação do efluente tratado em SAC.

Para as diferentes classes de reúso urbano, definidos na NBR13.969, somente para a Classe 1, que se destina à lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes, há normatização de sólidos totais dissolvidos inferiores a  $200 \text{ mg L}^{-1}$ . Apesar de esta variável não ter sido avaliada diretamente, acredita-se que no presente trabalho este valor seja suplantado, pelo menos em algumas fases de todas as unidades de tratamento, quando se faz a diferença entre os valores médios de sólidos totais e sólidos suspensos totais, apresentados na Tabela 4.

Para as demais classes, não há limite quanto aos sólidos diretamente, mas os valores de turbidez devem ser inferiores a 5 e 10 uT. E, acredita-se que os valores elevados de SS (Tabela 4) proporcionem maiores valores de turbidez no efluente tratado, mesmo no SAC.

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os valores de NTK e P obtidos por Lima (2019). A presença de nutrientes nas águas de reúso, assim como a matéria orgânica, é importante para o aproveitamento em sistemas agrossilvopastoris. O nitrogênio e o fósforo são utilizados para determinar a dosagem da água residuária para o aproveitamento agrícola, tal como definido na DN COPAM/CERH n°65, sem comprometer a qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Normalmente, em esgotos sanitários, o nutriente limitante é o nitrogênio, por apresentar maior concentração que o fósforo, e por ser mais propenso a causar contaminação das águas subterrâneas quando aplicado em excesso (ABASCAL et al., 2023).

Quanto à contaminação por fósforo, é dispensada menor atenção, pois, como nutriente bastante limitante em relação à produção agrícola pela baixa disponibilidade em solos intemperizados, e ainda, quando aplicado via fertilizante ser fortemente adsorvido pelos óxidos de ferro e alumínio presentes na maioria dos solos brasileiros (ALOVISI et al., 2020). No presente trabalho, a disposição do efluente após o UASB não teria restrição quanto ao uso agrossilvopastoril, tendo como base os valores de nitrogênio e fósforo. Apesar de não terem sido encontrados registros de problemas causados pelo excesso de fósforo em lavouras

fertirrigadas, Ferreira et al. (2019) relatam que o excesso de nitrogênio retarda a maturidade, reduz a produção de biomassa e resulta em lavouras de baixa qualidade.

O tratamento pode melhorar a qualidade das águas residuárias tratadas para atender aos padrões, mas também deve preservar os nutrientes. Como as águas residuárias são ricas em nitrogênio e fósforo que podem fornecer nutrientes às culturas, o grande desafio para a fertirrigação não é apenas preservar as quantidades de nitrogênio e fósforo contidas nas águas residuárias, porque esses nutrientes são essenciais para o crescimento das plantas (MAQUET, 2020), mas também respeitar as diretrizes apropriadas para uso seguro. Para implementar estratégias de reúso sustentáveis e eficazes, com a dosagem adequada dos efluentes da ETE-UFLA, é necessário um bom conhecimento das interações solo-planta-água (KEFI et al., 2023).

Para o reúso urbano, não há limitação quanto à presença de nutrientes. Entretanto, como discutido anteriormente, um efluente sanitário rico em nitrogênio e fósforo pode conter maiores concentrações de matéria orgânica e sólidos. Então, de forma indireta, pode ser necessário o controle destes elementos. Ainda, em relação à classe 4 para o reúso definido pela NBR13.969, destinada à aplicação em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, exige-se que o oxigênio dissolvido seja superior a  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ . Esta variável, não traz implicação direta nenhuma em relação ao aproveitamento agrícola. Entretanto, para que um efluente tenha concentração de oxigênio dissolvido superior ao valor definido, deve haver como última unidade de tratamento um sistema aeróbio. E, sabidamente, sistemas aeróbios com excesso de oxigênio, promovem maior remoção de matéria orgânica e nutrientes, como o nitrogênio.

Além das variáveis de qualidade discutidas anteriormente, outras duas são importantes de serem consideradas, porém, não foram avaliadas no trabalho de Lima (2019), sendo elas a concentração de sódio e a presença de coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*.

A DN COPAM/CERH nº65 estabelece que a quantidade máxima de sódio a ser aplicada no solo com o aproveitamento de esgoto sanitário deve ser de no máximo 300 kg por hectare por ano. Além disso, a razão de adsorção de sódio (RAS), que é a relação entre as concentrações de sódio e cálcio e magnésio, deve ser igual ou inferior a 3; e a condutividade elétrica igual ou superior a  $500 \text{ mS cm}^{-1}$ .

Neste contexto, Silva, Oliveira e Fia (2019) avaliaram o efluente da ETE-UFLA, após passar pelas unidades de tratamento: gradeamento grosso e fino, reator UASB e filtro biológico aerado submerso - FBAS. Considera-se que o sistema de tratamento é semelhante ao avaliado por Lima (2019) cujos resultados são discutidos no presente trabalho. Assim, para comparação,

serão utilizados como referência de Silva, Oliveira e Fia (2019), como semelhantes aos dados do efluente do FBAS utilizado por Lima (2019).

Por comparação aos dados apresentados nas Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5, Silva, Oliveira e Fia (2019) verificaram valores médios de pH igual a  $7,2 \pm 0,4$ ;  $40,0 \pm 17,7 \text{ mg L}^{-1}$  de DBO;  $86,6 \pm 42,7 \text{ mg L}^{-1}$  de DQO;  $546,3 \pm 51,9 \text{ mg L}^{-1}$  de ST;  $64,8 \pm 46,9 \text{ mg L}^{-1}$  de SS;  $19,6 \pm 4,7 \text{ mg L}^{-1}$  de NTK e  $0,7 \pm 0,3 \text{ mg L}^{-1}$  de P. Com exceção dos valores médios de DQO, SS e P, as demais variáveis tiveram os valores dentro da faixa observada por Lima (2019).

Em relação ao sódio, Silva, Oliveira e Fia (2019) obtiveram valor médio de  $6,8 \pm 1,7 \text{ mg L}^{-1}$ , o que em conjunto aos valores de cálcio ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) e magnésio ( $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ) resultou em uma RAS de  $3,9 \pm 1,5 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ . Além de condutividade elétrica de  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ . Assim, com base na DN COPAM/CERH n°65, a RAS pode ser um impeditivo quanto à aplicação do efluente tratado até a unidade do FBAS em atividades agrossilvopastoris no campus da UFLA. Como o sódio tem elevada solubilidade, acredita-se que o decantador secundário não seria suficiente para sua remoção. No entanto, a remoção poderia ocorrer no SAC, tendo em vista a capacidade das plantas em absorver esse elemento químico (TEIXEIRA, 2022).

Apesar do acúmulo de sódio e nutrientes no solo cultivado com grama esmeralda (*Zoysia japonica*) observado após a aplicação do efluente tratado da UFLA, das características apresentadas no esgoto tratado da UFLA, Silva, Oliveira e Fia (2019) verificaram o aumento dos teores de sódio no solo, o que demanda monitoramento para evitar a salinização do solo e dispersão das argilas. Apesar desta limitação, o efluente tratado da ETE-UFLA tem sido utilizado para irrigação de mudas do viveiro florestal da instituição, e, a princípio, sem maiores danos ao crescimento das espécies.

Corrêa et al. (2021) avaliaram a aplicação de esgoto sanitário tratado em região semiárida, e verificaram maior risco de salinização pelo aumento da RAS, comparado ao solo que recebeu água de irrigação. Situação semelhante foi verificada por Diaw et al. (2015) e Leuther et al. (2019), que relataram que a sodicidade do solo foi o fator mais afetado ao comparar áreas não irrigadas e irrigadas com água doce e efluente tratado, com o maior valor de RAS para parcelas irrigadas com esgoto.

Apesar do aumento da RAS com a aplicação de esgoto no solo, nota-se que em solos argilo-arenosos, geralmente mais pobres quimicamente, tendem a ser não salinos e não terão problemas estruturais relacionados à RAS devido à elevada permeabilidade natural, o que facilita a lixiviação do sal durante a estação chuvosa. Os solos argilosos, por outro lado, tendem a acumular sais e são ricos em sódio, com problemas estruturais que podem ocorrer se a SAR

aumentar (CORRÊA et al., 2021). Desta forma, avaliar o tipo de solo dentro da UFLA também se torna importante no manejo do efluente tratado quando utilizado na fertirrigação.

A presença de coliformes termotolerantes avaliada por Silva, Oliveira e Fia (2019) foi de  $2,7 \times 10^9 \pm 1,6 \times 10^9$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>. Este valor é considerado elevado para um efluente tratado anaerobiamente. Embora, Winward et al. (2009) confirmem que águas residuárias tratadas podem apresentar valores elevados de bactérias indicadoras. Por exemplo, as concentrações de coliformes termotolerantes em efluentes de tratamento secundário variam de 10<sup>3</sup> a 10<sup>8</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup>.

Valor esse que restringe a aplicação do efluente tratado no FBAS no reúso urbano, que segundo a NBR13969, independente da classe de reúso, os valores devem estar entre  $2 \times 10^2$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> (Classe 1) e  $5 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> para a classe 4. E segundo os critérios das DN COPAM/CERH n°65, em que os valores devem estar entre  $1 \times 10^4$  e  $1 \times 10^6$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> dependendo da cultura que receberá o efluente; e de  $1 \times 10^3$  e  $1 \times 10^4$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> dependendo da utilização urbana.

Desta forma, recomenda-se que a aplicação do esgoto tratado da UFLA em termos de fertirrigação seja realizada após a utilização do tratamento terciário com a desinfecção. Tratamento que já ocorre na ETE da UFLA por meio da cloração. E com base nas taxas de sódio estabelecidas na DN COPAM/CERH n°65, e como referência o nitrogênio presente no efluente.

Para utilização do esgoto tratado com vistas ao reúso urbano, deve-se avaliar novamente as características do efluente para estabelecer em quais locais poderá ser utilizado somente após a aplicação do tratamento terciário por meio da cloração. No Vale Mezquital, no México, onde se realiza a disposição de esgotos sanitários da cidade do México, sem tratamento no cultivo do milho, Contreras et al. (2020) verificaram que havia prevalência de casos de diarreia em crianças que viviam com exposição ocupacional a menos de 10 m do canal de condução do esgoto bruto. O declínio estimado na prevalência de diarreia em crianças que viviam a mais de 1000 m do canal foi de 70%. Evidenciando que a exposição ao esgoto com elevados índices de coliformes termotolerantes podem tornar doente a população exposta. Assim, na UFLA, o controle de acesso da população universitária aos locais de reúso deve ser observado.

## 6. CONCLUSÃO

Diante dos valores estudados neste trabalho, o esgoto da UFLA tratado por um sistema experimental pode ser aplicado em atividades agrossilvopastoris, desde que haja a desinfecção

e se comprove a redução dos valores de coliformes termotolerantes, além de serem observadas restrições de acesso ao ambiente utilizado para o reúso.

Para o reúso urbano, apresenta maiores limitações, sendo necessário avaliar as características do efluente, após a desinfecção, e então estabelecer os locais que poderá ser usado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABASCAL, E.; GÓMEZ-COMA, L.; ORTIZ, I.; ORTIZ, A. Global diagnosis of nitrate pollution in groundwater and review of removal technologies, **Science of The Total Environment**, v.810, 152233, 2022.

AL-MEFLEH, Naji K.; TALOZI, Samer; ABU NASER, Khaled. Assessment of treated wastewater reuse in drip irrigation under different pressure conditions. **Water**, v. 13, n. 8, p. 1033, 2021.

ALOVISI, A. M. T. et al. Soil factors affecting phosphorus adsorption in soils of the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v.22, e00298, 2020.

ANDRADE FILHO, J. et al. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. **NBR 13.969** - Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARRETO, Cecília Perdigão. **Controle da poluição marinha para a manutenção da qualidade dos oceanos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará. 2013.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p. 152-169, jun., 2008.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, jan. 1997.

BRASIL. Resolução 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**, 2011.

CARVALHO, Nathália Leal et al. Reutilização de águas residuárias. **Revista Monografias Ambientais**, p. 3164-3171, 2014.

CORRÊA, Marcus Metri et al. Reúso de água residual na irrigação: efeito de curto-prazo sobre os estoques de carbono e nitrogênio do solo no semiárido brasileiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 16, n. 1, 2021.

CONTRERAS, Jesse D. et al. Modeling spatial risk of diarrheal disease associated with household proximity to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico. **Environmental Health Perspectives**, v. 128, n. 7, p. 077002, 2020.

DA SILVA, Neusely et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. Editora Blucher, 2017.

DE MORAIS FERREIRA, Douglasnilson et al. Reuso agrícola de águas no brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1048-1059, 2019.

DIAW, Moctar et al. Assessing of the suitability for irrigation water and their repercussions on land degradation process in Delta and Lower Senegal River Valley. **American Journal of Water Resources**, v. 3, n. 2, p. 32-43, 2015.

DO SUL, Grande. RESOLUÇÃO CONSEMA N ° 128/2006. **Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**, 2011.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; CUFÍ, S.; SOLÉ-TORRES, C.; ARBAT, G.; PUJOL, J.; CARTAGENA, F. R. Effect of different filter media on emitter clogging using reclaimed effluents. **Agricultural Water Management**, v.266, 107591, 2022.

DURANTE, L. V.; TROMBETA, A.; PRADO, E. R. A.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M.; "REUSO DE EFLUENTES EM TORRES DE RESFRIAMENTO", p. 11701-11708 . In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]**. São Paulo: Blucher, 2015.

FREITAS, Wallisson da S. et al. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 120-125, 2004.

FUKASAWA, B. N.; MIERZWA, J. C. Identification of water reuse potential in Metropolitan Regions using the Analytic Hierarchy Process. **Environmental and Sustainability Indicators**, v.8, 100064, 2020.

GERAIS, MINAS. Deliberação Normativa CERH-MG n 65, de 18 de junho de 2020. **Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Diário Oficial do Estado: Belo Horizonte, MG**, v. 18, 2020.

GOMES FILHO, Raimundo R. et al. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 131-134, 2001.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

HUSSAR, Gilberto José et al. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos 6. ed. **Rio de Janeiro: ABES**, 2014.

KEFI, Mohamed et al. Model-Based Approach for Treated Wastewater Reuse Strategies Focusing on Water and Its Nitrogen Content “A Case Study for Olive Growing Farms in Peri-Urban Areas of Sousse, Tunisia”. **Water**, v. 15, n. 4, p. 755, 2023.

KOUL, B.; YADAV, D.; SINGH, S.; KUMAR, M.; SONG, M. Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes: A Review. **Water**, v.14, 3542, 2022.

LIMA, Lucas Cardoso. **Tratamento do esgoto sanitário da universidade federal de Lavras, em estação piloto, objetivando sua caracterização, remoção de poluentes e cinética.** Orientador: Dr. Ronaldo Fia. 2019. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2019.

LEUTHER, Frederic et al. Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. **Geoderma**, v. 333, p. 90-98, 2019.

MAQUET, Christophe. Wastewater reuse: a solution with a future. **Field Actions Science Reports. The journal of field actions**, n. Special Issue 22, p. 64-69, 2020.

MEDEIROS, Salomão de S. et al. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 268-273, 2021.

MISHRA, S.; KUMAR, R.; KUMAR, M. Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. **Total Environment Research Themes**, v.6, 100051, 2023.

MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa, 2010. 319 p. (Série de Guias técnicos, 14).

MOURA, Priscila Gonçalves et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, p. 791-808, 2020.

NASCIMENTO, R. S.; BORGES, V. P.; MELO, D. C. D. Implications of climate change on water availability in a seasonally dry tropical forest in the Northeast of Brazil. **Rev. Ceres**, v.70, n.3, p.1-11, 2023.

RIBEIRO, Paulo Roberto da Silva. **Caracterização química, física e microbiológica de cursos d'água da bacia do Rio Turvo Limpo**. 2002. 153f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

ROGY, N. et al. Water supply scenarios of agricultural areas: Environmental performance through Territorial Life Cycle Assessment. **Journal of Cleaner Production**, v.366, 132862, 2022.

SANTOS, Ana Silvia Pereira et al. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 437-462, 2020.

SILVA, J. R. M.; OLIVEIRA, LFC; FIA, R. **Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em solo cultivado com grama esmeralda (Zoysia japonica)**. 2017. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA JÚNIOR, Waltoíres Reis da et al. Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado e cultivado com pimentão. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, p. e2341, 2019.

Silva, V. F.; Sousa, J. T.; Vieira, F. V.; Santos, K. D. Tratamento anaeróbico de esgoto doméstico para fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.186- 190, 2005.

SILVA, Valdemir Fonseca da. **Avaliação da eficiência de tanque séptico no tratamento de esgoto sanitário e proposição de tecnologia complementar por meio de modelo de apoio multicritério à decisão.** 2016.

TRATAMENTO DE EFLUENTES E REÚSO DA ÁGUA NO MEIO AGRÍCOLA:  
BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso de água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

TEIXEIRA, D. L. Influence of plants on the salinity of constructed wetlands effluents. **Water Science and Technology**, v.85, n.5, p.1648-1657, 2022. 10.2166/wst.2022.075.

TORTAJADA, C. Contributions of recycled wastewater to clean water and sanitation Sustainable Development Goals. **Clean Water**, v.3, n.22, 2020.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **Recursos hídricos no século XXI.** Oficina de Textos, 2011.

VAN DE WALLE, A. et al. Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. **Environmental Science and Ecotechnology**, v.16, 100277, 2023.

WINWARD, Gideon P. et al. Pathogens in urban wastewaters suitable for reuse. **Urban Water Journal**, v. 6, n. 4, p. 291-301, 2009.

ZAGKLIS, D.P.; BAMPOS, G. Tertiary wastewater treatment technologies: a review of technical, economic, and life cycle aspects. **Processes**, v.10, 2304, 2022.