



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS SUBPRODUTOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES: ESTUDO DE CASO DA COMPANHIA
DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS.**

Nícolas Heberte Coelho

**Belo Horizonte
2023**

Nícolas Heberte Coelho

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS SUBPRODUTOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES: ESTUDO DE CASO DA COMPANHIA
DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Guadagnin Moravia.

Co-Orientadora: Leila Möller (Engenheira Civil e Sanitarista - CREA 30560/D).

Belo Horizonte
2023

NÍCOLAS HEBERTE COELHO

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS SUBPRODUTOS DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES: ESTUDO DE CASO DA COMPANHIA
DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 04 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Presidente da Banca Examinadora
Prof. Wagner Guadagnin Moravia – Orientador (CEFET-MG)
Dr. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG



2º Examinador
Camila Moreira de Assis (Externo)
Dra. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG

 Documento assinado digitalmente
PAMELA BECALLI VILELA
Data: 08/12/2023 11:33:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

3º Examinador
Pâmela Becalli Vilela (Externo)
Dra. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO,
ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 11/12/2023

CÓPIA DE FOLHA DE ASSINATURAS Nº 6/2023 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 11/12/2023 16:48)

WAGNER GUADAGNIN MORAVIA

PROFESSOR ENS BÁSICO TECN TECNOLÓGICO

DCTA (11.55.03)

Matricula: ###330#5

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: 6, ano: 2023, tipo:
CÓPIA DE FOLHA DE ASSINATURAS, data de emissão: 11/12/2023 e o código de verificação: 6686081c18

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, fonte inesgotável de saúde, paz, resiliência e bênçãos que permeiam minha vida, e por proporcionar a oportunidade de embarcar nesta jornada acadêmica em uma instituição de ensino tão prestigiosa.

À minha mãe, expresso minha gratidão por todo o incentivo e apoio incondicional ao longo de minha vida. Reconheço os esforços dedicados para me educar, orientando-me com humildade e responsabilidade pelo caminho do bem.

Ao Professor Wagner, minha sincera gratidão por sua orientação valiosa neste trabalho, sempre solícito e atencioso, contribuindo significativamente para o meu crescimento acadêmico.

À Leilinha, agradeço pelos ensinamentos diários no período que trabalhamos juntos na ARSAE-MG, pelo carinho dedicado e pela colaboração essencial na elaboração desta pesquisa.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, expresso meu reconhecimento pelo fornecimento da estrutura necessária e pelo ensino de qualidade excepcional ao longo desta jornada acadêmica.

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) e à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), meu agradecimento pelo apoio e pela disponibilização dos dados fundamentais para a condução desta pesquisa.

Aos meus amigos, verdadeiros companheiros desde o início da graduação, agradeço pela amizade, apoio e momentos compartilhados ao longo desta jornada acadêmica. O suporte de vocês foi essencial para superar desafios e celebrar essa conquista.

RESUMO

COELHO, NÍCOLAS HEBERTE. **GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS SUBPRODUTOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES: ESTUDO DE CASO DA COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS**. 2023. 83 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

Os processos de tratamento de água e de esgotos sanitários geram, ao final do seu ciclo produtivo, uma variedade de resíduos sólidos que são provenientes das diversas etapas existentes nestes sistemas de tratamento. Nesse contexto, o manejo adequado dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) é fundamental para garantir a proteção do meio ambiente, a saúde pública e o cumprimento das regulamentações ambientais. Nos últimos anos, o Brasil tem passado por mudanças significativas na gestão dos resíduos sólidos, impulsionadas por uma legislação ambiental mais restritiva. Essas regulamentações têm impacto direto na gestão dos resíduos que são realizados nas ETA's e ETE's. Uma dessas exigências é a construção de Unidades de Tratamento de Resíduos (UTR) em ETA's, requisito para a obtenção de licenciamento ambiental. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a geração e a destinação final dos resíduos produzidos na ETA Rio Manso e na ETE Arrudas, gerenciadas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Entre os resultados alcançados, ressalta-se a disparidade entre os percentuais de resíduos declarados na pesquisa e os dados efetivamente comunicados ao órgão ambiental. Além disso, foram apresentadas novas soluções implementadas por prestadores de serviço para o reaproveitamento do lodo de ETE, contribuindo para avanços na abordagem desse tema. Esses resultados não apenas sublinham a importância de aprimorar a gestão de resíduos sólidos, promovendo ajustes nos processos, mas também ressaltam o papel crucial da inovação na abordagem sustentável desses desafios. Dessa forma, a pesquisa não apenas contribui para o entendimento mais profundo da dinâmica dos resíduos nas ETA's e ETE's, mas também aponta caminhos para práticas mais eficientes e sustentáveis, alinhadas com as exigências ambientais e as demandas da sociedade.

Palavras chave: Gestão Ambiental. Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR). Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

COELHO, NÍCOLAS HEBERTE. **SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT PLANT BY-PRODUCTS: A CASE STUDY OF THE SANITATION COMPANY OF THE STATE OF MINAS GERAIS.** 2023. 83 pages. Undergraduate Thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

The water and sanitary sewage treatment processes generate, at the end of their production cycle, a variety of solid waste originating from various stages in these treatment systems. In this context, proper management of the waste generated in Water Treatment Plants (ETAs) and Sewage Treatment Plants (ETEs) is essential to ensure environmental protection, public health, and compliance with environmental regulations. In recent years, Brazil has undergone significant changes in solid waste management driven by more restrictive environmental legislation. These regulations directly impact the management of waste in ETAs and ETEs. One of these requirements is the construction of Waste Treatment Units (UTR) in ETAs, a prerequisite for obtaining environmental licensing. Thus, this research aimed to assess the generation and final destination of waste produced at ETA Rio Manso and ETE Arrudas, managed by the Sanitation Company of Minas Gerais (COPASA). Among the results obtained, a notable discrepancy was observed between the percentages of waste declared in the research and the data effectively communicated to the environmental agency. Additionally, new solutions implemented by service providers for the reuse of ETE sludge were presented, contributing to advancements in addressing this issue. These results not only underscore the importance of improving solid waste management through process adjustments but also highlight the crucial role of innovation in addressing these challenges sustainably. Therefore, the research not only contributes to a deeper understanding of waste dynamics in ETAs and ETEs but also suggests paths for more efficient and sustainable practices aligned with environmental requirements and societal demands.

Keywords: Wastewater Treatment Plant Waste, Water Treatment Plant Waste, Life Cycle Assessment.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Unidades ETE Arrudas pré e pós ampliação	51
Tabela 4.2 – Leis, deliberações normativas e resoluções federais no âmbito de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos	54
Tabela 4.3 – Leis, deliberações normativas e resoluções estaduais no âmbito de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos	55
Tabela 5.1 – Volume de água produzido do Sistema Rio Manso, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.....	57
Tabela 5.2 – Volume de lodo produzido do Sistema Rio Manso, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.....	57
Tabela 5.3 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 83296, no período de 01/07/2021 até 31/12/2021.....	58
Tabela 5.4 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 91256, no período de 01/01/2022 até 30/06/2022.....	59
Tabela 5.5 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados ETA Rio Manso – DMR nº 114718, no período de 01/07/2022 até 31/12/2022.....	59
Tabela 5.6 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 138137, no período de 01/01/2023 até 30/06/2023.....	59
Tabela 5.7 – Valores Médios dos Resíduos Gerados na ETA Rio Manso, no período de 01/07/2021 a 30/06/2023.....	60
Tabela 5.8 – Comparativo Geral do Quantitativo de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso, Em relação ao total declarado nas DMR's da Feam, no período de 01/01/2022 até 31/12/2022.....	60
Tabela 5.9 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 23776, no período de 01/01/2020 até 30/06/2020.....	61
Tabela 5.10 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 33353, no Período de 01/07/2020 até 31/12/2020.....	62
Tabela 5.11 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 49656, no período de 01/01/2021 até 30/06/2021.....	63
Tabela 5.12 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 68600, no período de 01/07/2021 até 31/12/2021.....	63
Tabela 5.13 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 89772, no período de 01/01/2022 até 30/06/2022.....	64
Tabela 5.14 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 111748, no período de 01/07/2022 até 31/12/2022.....	64
Tabela 5.15 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 136372, no período de 01/01/2023 até 30/06/2023.....	65
Tabela 5.16 – Valores Médios de Geração dos Resíduos na ETE Arrudas, Declarados no Sistema MTR, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.....	65
Tabela 5.17 – Valores médios informados pelo prestador, da geração dos Resíduos na ETE Arrudas, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.....	66
Tabela 5.18 – Comparativo Geral do Quantitativo médio informado de Resíduos gerados na ETE Arrudas em relação à média declarada nas DMR's da Feam, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 - Percentual de Coleta de Esgoto Declarado (PCD) nas bacias hidrográficas, em relação ao PCD do estado de Minas Gerais.....	23
Figura 3.2 - Percentual de Tratamento de Esgotos Declarado (PTD) nas bacias hidrográficas, em relação ao PTD do estado de Minas Gerais.	23
Figura 3.3 - Panorama da situação das ETEs no estado de Minas Gerais.	25
Figura 3.4 - Índice da população atendida com abastecimento de água.....	26
Figura 3.5 - Percentual da população total atendida com abastecimento de água.....	27
Figura 3.6 - Prestadores de serviço na sede do município de MG	28
Figura 3.7 - Prestadores de serviço nos distritos do município de MG.....	29
Figura 3.8 - Mapa dos prestadores do serviço de abastecimento de água em Minas Gerais....	29
Figura 3.9 – Concentrações do Lodo Proveniente da UTR da ETA Rio Manso no Extrato Lixiviado.....	31
Figura 3.10 – Concentrações do Lodo Proveniente da UTR da ETA Rio Manso no Extrato do ensaio de solubilização.....	32
Figura 3.11 – Concentrações Médias de Sólidos ao Longo da Fase Sólida da ETE Arrudas...33	33
Figura 3.12 – Valores Médios das Variáveis Operacionais das Unidades Componentes da Fase Sólida da ETE Arrudas.....	33
Figura 3.13 - Panorama da situação das ETEs quanto à regularização ambiental nas bacias hidrográficas de Minas Gerais.	37
Figura 3.14 - Critérios e prazos para regularização ambiental dos sistemas de tratamento de esgoto segundo às Deliberações Normativas nº 96/2006 e nº 128/2008.....	39
Figura 4.1 – Unidades do Sistema Rio Manso (SRM)	43
Figura 4.2 - Croqui do Sistema Rio Manso (SRM)	44
Figura 4.3 - Unidades integrantes da UTR do (SRM).....	46
Figura 4.4 - Desidratação do lodo em sacos Geotéxteis.....	47
Figura 4.5 - Imagem de satélite ETE Arrudas (Portaria em BH e Unidades do Sistema).....	48
Figura 4.6 - Fluxograma do processo de tratamento da ETE Arrudas	50
Figura 5.1 - Quadro dos grupos dos RSS, segundo RDC ANVISA nº 222/2018 e Resolução CONAMA nº 358/2005.....	70
Figura 5.2 - Fluxograma do uso agrícola do lodo produzido pela Sanepar.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AAF – Autorização Ambiental de Funcionamento

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARSAE-MG - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais

ACV – Análise do Ciclo de Vida

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DMR's – Declaração de Movimentação de Resíduos

ETAs - Estações de Tratamento de Água

ETEs - Estações de Tratamento de Esgoto

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

GRS – Gerenciamento de Resíduos Sólidos

LO – Licença de Operação

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos

NBR - Norma Brasileira da ABNT

PCD - Percentual de Coleta de Esgoto Declarado

PCT – Pequena Central Hidrelétrica

PTD - Percentual de Tratamento de Esgotos Declarado

PERSMG- Política Estadual de Resíduos Sólidos de Minas Gerais

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCA – Relatório de Controle Ambiental

SEMAD-MG – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do estado de Minas Gerais

SRM – Sistema Rio Manso

SURAM - Subsecretaria de Regularização Ambiental

UTRs – Unidades de Tratamento de Resíduos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Legislação e Normas Aplicáveis	17
3.2 Panorama Atualizado do Sistema de Esgotamento Sanitário no Estado de Minas Gerais	21
3.3 Panorama Atualizado do Sistema de Abastecimento de Água no Estado de Minas Gerais	25
3.4 Perfil dos Resíduos Gerados nas ETAs	30
3.5 Perfil dos Resíduos Gerados nas ETEs	32
3.6 Manejo dos Resíduos	35
3.7 Licenciamento Ambiental das Unidades	36
3.8 Disposição Final de Lodos de ETE	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	41
4.1 Caracterização da Área de Estudo	41
4.2 Base de Dados	52
4.3 Caracterização e Classificação dos Resíduos	53
4.4 Avaliação do Cumprimento das Legislações Aplicáveis	53
4.5 Soluções Para Aproveitamento dos Resíduos	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 Banco de Dados	57
5.2 Classificação dos Resíduos Gerados	69
5.3 Avaliação do Cumprimento das Legislações Aplicáveis	71
5.4 Apresentação das Soluções Para Reaproveitamento dos Resíduos Gerados	72
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	76
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

O setor de saneamento enfrenta desafios cada vez maiores no gerenciamento dos resíduos sólidos (GRS) provenientes dos processos de tratamento da água e de tratamento de esgotos sanitários. Nos últimos anos, têm sido realizados investimentos significativos no Brasil, para expandir esses serviços, atendendo às crescentes demandas da sociedade e das agências ambientais por preservação ambiental, qualidade de vida e bem-estar social.

Como consequência direta da democratização desses serviços e da melhoria dos processos de tratamento, observa-se um aumento no volume de resíduos complexos e de difícil disposição final. Dentre esses resíduos do setor de tratamento de água e efluentes, os lodos, por exemplo, produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgotos (ETE) se destacam como os mais críticos, devido à sua grande quantidade gerada e aos altos custos de gerenciamento, que incluem o processamento e a disposição final.

O manejo desses lodos é então um processo altamente complexo, frequentemente envolvendo custos elevados e exigindo soluções que vão além dos limites das estações de tratamento de água e esgotos. No entanto, seu manejo é indispensável para alcançar plenamente os resultados sanitários, ambientais e sociais esperados dos serviços de saneamento.

No Brasil, segundo Andreoli *et al.* (2006), estas atividades foram frequentemente negligenciadas, acumulando passivos ambientais de grandes dimensões, susceptíveis a multas e autuações pelos órgãos ambientais. A cadeia de omissões tem início na concepção dos sistemas, que ignoram a gestão de resíduos, e se estende pelos órgãos de licenciamento ambiental, na implementação das obras, e a gestão desses resíduos acaba sendo realizada de forma emergencial, pelos operadores das estações, sem um planejamento adequado, causando grandes impactos ambientais e econômicos.

Nesse sentido, devido à importância do tema, a Agenda 21, que é um plano de ação global adotado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, também conhecida como a Cúpula da Terra, abordou em seu capítulo 21, especificamente sobre a gestão dos resíduos provenientes do saneamento. As orientações apresentadas destacam a necessidade de adotar medidas para reduzir a geração de

resíduos, seguidas de alternativas de etapas de manejo, como reutilização e reciclagem, e, por fim, a implementação de medidas adequadas para a disposição final.

O destino final do lodo é, portanto, uma atividade de grande importância e complexidade, pois frequentemente extrapola os limites das estações de tratamento e exige a integração com outros setores da sociedade. Segundo a legislação de diversos países, e mesmo a brasileira, a responsabilidade por problemas que podem ser causados pelo destino inadequado do lodo é sempre dos geradores do resíduo, que podem ser enquadrados na própria lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/98). Neste sentido, alguns órgãos ambientais estão exigindo o detalhamento da alternativa de disposição final no processo de licenciamento das ETEs, o que representa um grande avanço na gestão ambiental do nosso país (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Assim, nota-se que, nos últimos anos, o panorama da gestão dos resíduos sólidos gerados nas ETAs e ETEs vem se alterando, à medida que a legislação ambiental brasileira torna-se mais restritiva com a promulgação de legislação Federal, como a Lei nº 9.433/97 e a Resolução CONAMA nº 430/11, e de legislação Estadual, em Minas Gerais, como a Deliberação Normativa COPAM nº 245/22, que exige a construção de Unidades de Tratamento de Resíduos para obtenção de licenciamento ambiental de ETAs, que, por sua vez, exige o tratamento dos efluentes gerados, o que provoca mudanças na postura da gestão de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário e dos órgãos de fiscalização perante o problema.

Ademais, com a implementação do Marco Legal do Saneamento Básico (Lei Federal nº 14026/2020), estima-se que, até 2033, aproximadamente 90% da população terá acesso à coleta e ao tratamento de esgotos e 99% terá acesso à água tratada (BRASIL, 2020a), e isso resultará em um aumento significativo na geração de resíduos, o que eleva a preocupação com o tratamento e a destinação final adequada dos mesmos.

Por fim, Borges, Campos e Ferreira (2017) mencionaram que os manejos dos resíduos provenientes das unidades operacionais de esgotos sanitários passaram a ser considerados questões importantes para o gerenciamento do sistema, principalmente devido aos custos operacionais com transporte e destinação final, bem como quanto às questões de monitoramento e fiscalização dos órgãos ambientais, por exemplo. Ademais, nota-se que a quantidade de estudos que versam sobre o problema de engenharia sanitária e ambiental ora apresentado, ainda é incipiente no Brasil, demonstrando a necessidade de pesquisas nessa área.

Diante do exposto, essa pesquisa se justifica pela urgência na abordagem de desafios ambientais, como o gerenciamento de resíduos sólidos e os impactos associados ao seu manejo e disposição final inadequados. Assim, busca-se compreender às práticas de gestão aplicadas na Copasa, oferecendo *insights* para políticas públicas e inovação setorial, visando influenciar positivamente a tomada de decisões aos gestores de unidade. O estudo tem como objetivo efetuar a caracterização e classificação minuciosa dos subprodutos gerados em Estações de Tratamento de Água ETAs e ETEs, além de examinar a legislação pertinente à gestão desses materiais, por meio de uma revisão bibliográfica abrangente sobre o tema e contribuir para o avanço nas diretrizes e soluções para o manejo, reaproveitamento e destinação final adequada desses subprodutos em ETEs e ETAs no Estado de Minas Gerais. O propósito central é promover práticas mais sustentáveis e eficientes no setor, visando a contribuir significativamente para o desenvolvimento e aprimoramento das abordagens relacionadas a essa temática.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os subprodutos da ETA Rio Manso e da ETE Arrudas, operadas pela Copasa, para propor práticas sustentáveis e eficientes de manejo.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar e classificar os subprodutos gerados na ETA Rio Manso e na ETE Arrudas;
- Avaliar a gestão atual dos subprodutos classificados de acordo com a legislação aplicável e o seu cumprimento, diante do panorama atual, e estabelecer necessidades de avanços;
- Discutir soluções para manejo, reaproveitamento e destinação final adequada para os subprodutos gerados em ETEs e ETAs no Brasil.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse tópico será abordada a fundamentação teórica, com conceitos já consolidados para execução dessa monografia. Serão discutidos o panorama dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o perfil dos resíduos gerados nas unidades, os custos de manejo, tratamento e disposição final dos resíduos, a legislação aplicável e o licenciamento ambiental das unidades.

3.1 Legislação e Normas Técnicas Aplicáveis

Conforme definido pela Lei Federal nº 11.445/2007, o saneamento básico consiste no conjunto dos serviços públicos, infraestruturas e instalações para os serviços de (1) abastecimento de água potável, (2) esgotamento sanitário, (3) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e (4) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

Nesta esfera, a Lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao GRS, incluindo os resíduos perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010). No Capítulo II, art. 3º, para os efeitos da Lei, entende-se por, dentre outros:

Art. 3º (...)

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com Lei; plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível; (...)

Reforça-se que a norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), define resíduo sólido como aquele no estado sólido ou semissólido, que é resultado de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, e de varrição. Ficam incluídos nesta definição também os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e de esgotos, gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. Já pela Política Estadual de Resíduos Sólidos de Minas Gerais (PERSMG), também há a definição de resíduos sólidos (MINAS GERAIS, 2009a), dentre outras, em consonância com a própria NBR 10004:2004.

Nesse contexto, a ARSAE-MG (Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais) é a agência reguladora responsável por normatizar e fiscalizar os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pela Copasa, pela Copanor, pela SANARJ (Concessionária de Saneamento Básico de Araújos-MG), e pela SAMOTRACIA (Concessionária de Saneamento básico em Alphaville – Lagoa dos Ingleses), no estado de Minas Gerais. A agência realiza ainda, para cada um desses prestadores, o cálculo para a revisão e o reajuste tarifário, além de atuar na mediação de conflitos entre prestadores e poder concedente (prefeituras) e no atendimento ao usuário, através do serviço de ouvidoria.

De acordo com sua lei de criação, a Lei Estadual nº 18.309, de 3 de agosto de 2009, a Arsae-MG tem por finalidade fiscalizar e orientar a prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, bem como editar normas técnicas, econômicas e sociais para os prestadores de serviços regulados pela agência.

Conforme estabelecido no Art. 2º do Decreto Estadual no 47.884, são competências da Arsae-MG (...), quando o serviço for prestado:

I - pelo Estado ou por entidade de sua administração indireta, em razão de convênio celebrado entre o Estado e o município;

II - por entidade da Administração indireta, em razão de permissão, contrato de programa, contrato de concessão ou convênio celebrado com o município;

III - por município ou consórcio público de municípios, direta ou indiretamente, mediante convênio ou contrato com entidade pública ou privada não integrante da Administração Pública;

IV - por entidade de qualquer natureza que preste serviços em município situado em região metropolitana, aglomeração urbana ou em região onde a ação comum entre o Estado e os municípios se fizer necessária;

V - por consórcio público integrado pelo Estado e por municípios.

Conforme estabelecido no Art. 3º do Decreto Estadual no 47.884, são atribuições da Arsae-MG:

I - supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação específica relativa ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário;

II - fiscalizar a prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, incluídos os aspectos contábeis, financeiros e os relativos ao desempenho técnico-operacional;

III - expedir regulamentos de ordem técnica e econômica, visando ao estabelecimento de padrões de qualidade para:

a) prestação dos serviços;

b) otimização dos custos;

c) segurança das instalações;

d) atendimento aos usuários;

IV - celebrar convênio com municípios que tenham interesse em se sujeitar à atuação da Arsae-MG;

X. - aplicar sanções e penalidades ao prestador do serviço, quando, sem motivo justificado, houver descumprimento das diretrizes técnicas e econômicas expedidas pela Arsae-MG;

XI -celebrar convênios e contratos com órgãos e entidades internacionais, federais, estaduais, municipais e com pessoas jurídicas de direito privado, no âmbito de sua competência.

Sobre essa temática, a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (Arsae-MG), no desempenho de sua atribuição de expedir regulamentos de ordem técnica, reforçou, em suas resoluções normativas,

a exigência de que os prestadores regulados, responsáveis pela operação de ETAs e ETEs, façam o manejo adequado dos resíduos gerados em suas operações. Desta forma, na Resolução Arsae-MG nº 129/2019 ficou estabelecido que o prestador de serviços dos serviços públicos de abastecimento de água deve garantir a destinação final adequada dos resíduos gerados na operação da ETA, conforme legislação pertinente (ARSAE, 2019):

Art. 55º O prestador de serviços deve garantir a destinação final adequada dos resíduos gerados na operação da ETA, conforme legislação pertinente.

Art. 58º Os produtos químicos e insumos utilizados para tratamento da água e ensaios de controle de qualidade da água devem: (...)

III - ter suas embalagens e resíduos descartados conforme orientações do fabricante.

Art. 73º O laboratório deve dispor de POP das análises que realiza, incluindo detalhamento dos procedimentos para coleta, manuseio, acondicionamento, transporte, preparação, análise e descarte de resíduos, bem como para o registro dos resultados obtidos.

Com isto, a Resolução Arsae-MG nº 129/2019 ainda prevê que, quando for constatada conduta irregular na destinação final dos resíduos ou na regularização ambiental da ETA, os fatos serão encaminhados ao órgão ambiental (ARSAE, 2019):

Art. 45, Parágrafo único. A constatação de destinação dos resíduos em desacordo com a lei será levada pela Arsae-MG ao conhecimento do órgão ambiental competente.

Art. 47, Parágrafo único. A constatação de operação em desacordo com a licença ou Ato Autorizativo será levada pela Arsae-MG ao conhecimento do órgão ambiental competente.

Já, na Resolução Arsae-MG nº 130/2019, está estabelecida a diretriz sobre a destinação final adequada de resíduos sólidos, fomentando os padrões de qualidade definidos para a prestação dos serviços públicos de esgotamento sanitário (ARSAE, 2019):

Art. 2º Para os fins desta Resolução, são adotadas as seguintes definições: (...)

XII - destinação final adequada: destinação de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento energético e outras destinações admitidas pelos órgãos de meio ambiente, saúde e agropecuária, incluindo a disposição final adequada, observando

normas operacionais e legislação específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

XIII - disposição final adequada: disposição de resíduos que considere: (1) o lançamento em corpo hídrico ou infiltração no solo de efluentes líquidos, (2) a queima de biogás e (3) a disposição ordenada em aterros de resíduos sólidos. Para que sejam consideradas adequadas, devem ser observadas as normas operacionais e legislações específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; (...)

L – unidades operacionais: unidades do sistema de esgotamento sanitário nas quais ocorrem os processos de recalque, tratamento de esgoto e destinação final de resíduos do tratamento;

XLIV – sistema de esgotamento sanitário (SES): conjunto de instalações e equipamentos utilizados nas atividades de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários e dos subprodutos do seu tratamento;

Art. 49º A ETE deve dispor de Licença de Operação, Licença Ambiental Simplificada (LAS) ou outro instrumento que venha a substituí-las, conforme legislação ambiental.

Art. 61º O prestador de serviços deve promover a destinação final adequada de todos os subprodutos gerados no tratamento de esgotos, incluindo:

I – biogás;

II - resíduos sólidos;

III – lodo;

IV - efluente tratado.

3.2 Panorama Atualizado do Sistema de Esgotamento Sanitário no Estado de Minas Gerais

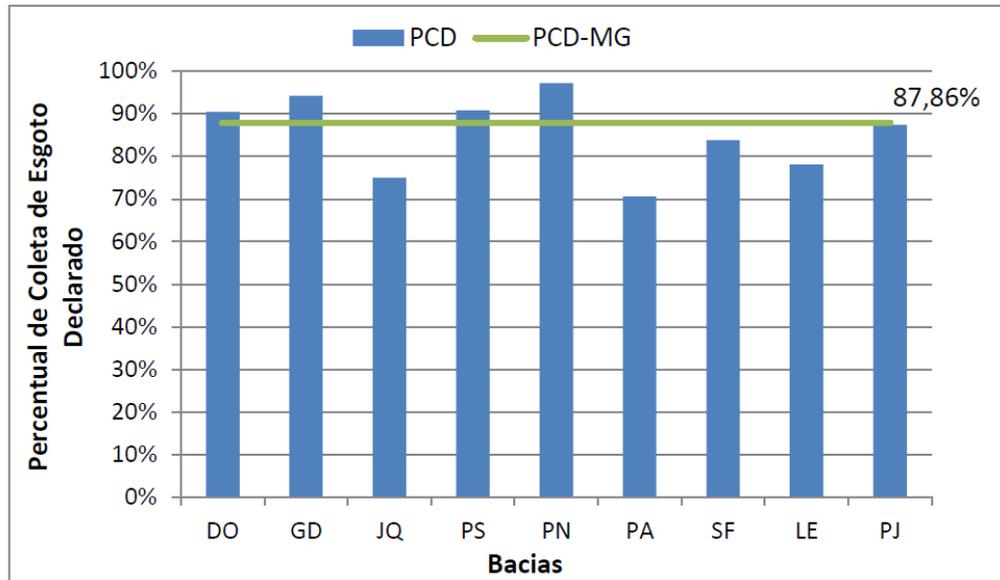
De acordo com o estudo publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), por meio do relatório Minas Trata Esgoto (2016), identificou-se a presença de rede coletora de esgotos em 800 municípios mineiros, o que representa 93,8% do total. Dos 53 municípios restantes, 44 não apresentam rede coletora e em 9 não há informação. Já o percentual de atendimento à população urbana pelo serviço de coleta de esgotos em Minas Gerais foi estimado em 87,9% (Figura 3.1), o que corresponde a 14.686.754 habitantes.

Na área de abrangência das nove bacias estudadas, quatro apresentaram Percentual de Coleta de Esgoto Declarado (PCD) superior ao índice estimado para o Estado (Rio Doce, Rio Grande, Rio Paraíba do Sul e Rio Paranaíba), sendo a Bacia do Rio Paranaíba a que apresentou o maior percentual de atendimento pela rede coletora de esgotos, 97,2%. A Bacia dos Rios Piracicaba e Jaguari apresentou PCD de 87,4%, praticamente igual ao estimado para o Estado. Já as demais

bacias Rio Jequitinhonha, Rio Pardo, Rio São Francisco e Rios do Leste apresentaram PCD inferior ao índice estimado para o Estado, sendo que o menor percentual de atendimento pelo serviço de coleta de esgotos foi verificado nos municípios da Bacia do Rio Pardo, 69,0%.

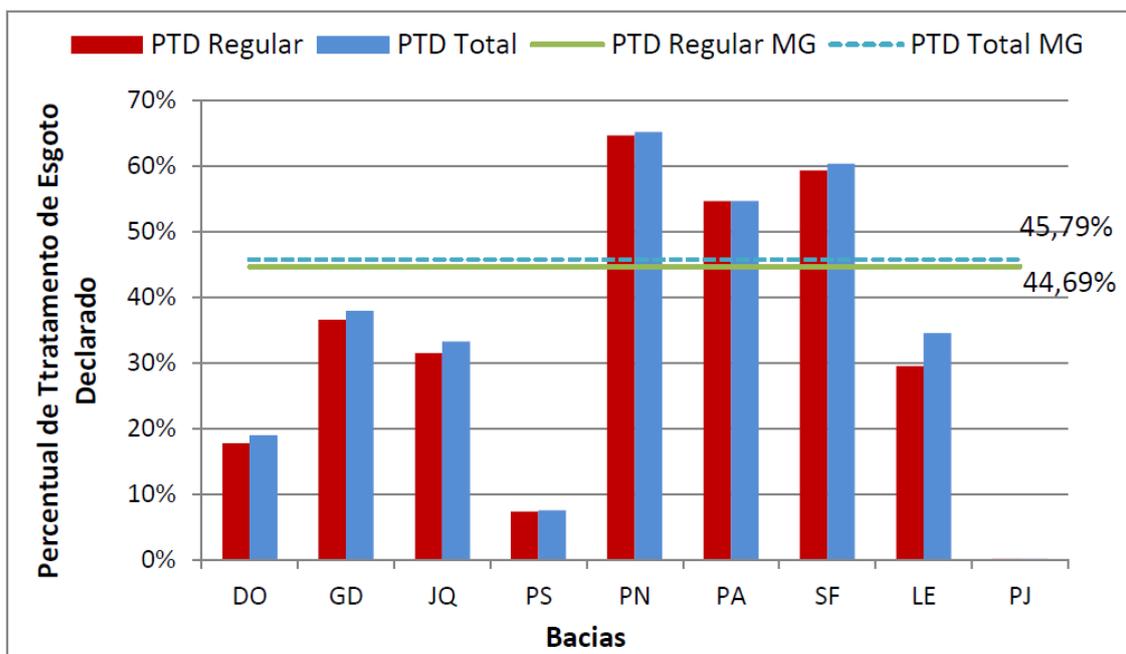
Quanto ao tratamento de esgotos, verificou-se que, dos 800 municípios mineiros que realizam a coleta, apenas 264 municípios possuem sistemas de tratamento do esgoto em operação. O percentual de atendimento à população urbana no Estado pelo serviço de tratamento de esgotos por ETEs regularizadas ambientalmente foi estimado em 44,7%, que corresponde a 7.470.867 habitantes (Figura 3.2). Considerando as ETEs irregulares, ou seja, que operam sem licença ambiental, o Percentual de Tratamento de Esgoto declarado (PTD) e a população urbana atendida pelo serviço aumentam para 45,8% e 7.653.886 habitantes, respectivamente.

Figura 3.1 - Percentual de Coleta de Esgoto Declarado (PCD) nas bacias hidrográficas, em relação ao PCD do estado de Minas Gerais.



Fonte: FEAM (2016).

Figura 3.2 - Percentual de Tratamento de Esgotos Declarado (PTD) nas bacias hidrográficas, em relação ao PTD do estado de Minas Gerais.



Fonte: FEAM (2016).

Nota: DO - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Doce.

GD - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Grande.

JQ - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Jequitinhonha.

PS - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul.

PN - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Paranaíba.

PA - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Pardo.

SF - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio São Francisco.

LE - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos dos Rios do Leste.

PJ - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos dos Rios Piracicaba e Jaguari

As áreas de abrangência de três bacias (Rio Paranaíba, Rio Pardo e Rio São Francisco) apresentaram PTD Total superior ao registrado para o Estado. O maior valor foi encontrado na primeira, 64,4%. As outras bacias apresentaram PCD inferior ao índice estimado para o Estado. Os destaques negativos foram as bacias do Rio Paraíba do Sul e a dos Rios Piracicaba e Jaguari que apresentaram percentuais de atendimento à população urbana pelo serviço de tratamento de esgotos estimados em apenas 7,5% e 0,2%, respectivamente.

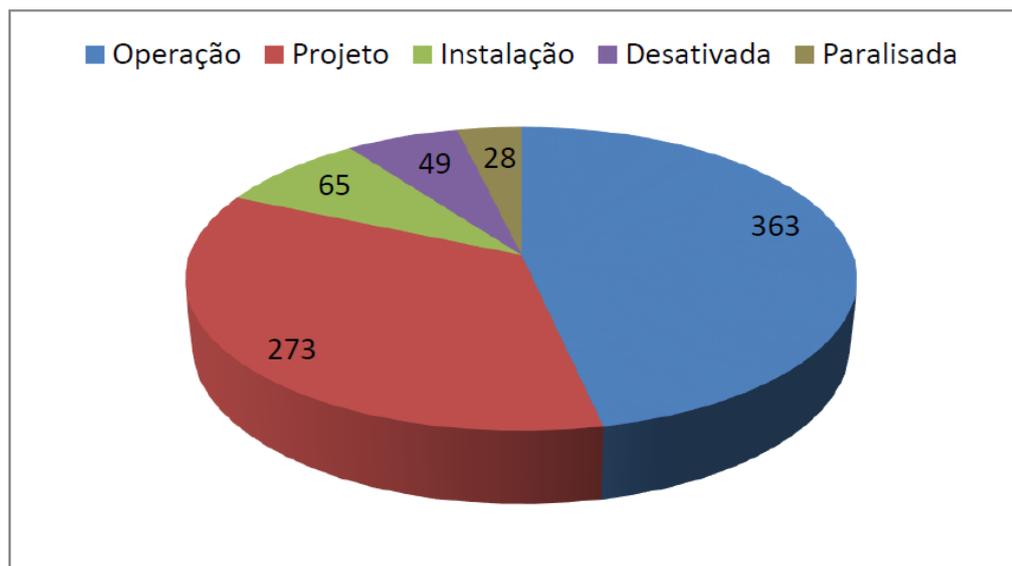
No relatório Minas Trata Esgoto, a FEAM avaliou a situação das estações de tratamento de esgoto do estado de Minas Gerais, definindo cinco categorias, de acordo com as informações fornecidas pelo prestador de serviços de esgotamento sanitário do município:

- ETE em operação: quando a estação opera e executa os procedimentos operacionais inerentes ao seu tipo de tratamento;
- ETE paralisada: quando não há aporte de esgotos à estação, mas existe possibilidade de reativação;
- ETE desativada: quando não há aporte de esgotos à estação e não existe possibilidade de reativação;
- ETE em instalação: quando a estação se encontra em fase de construção;
- ETE em fase de projeto: quando o projeto se encontra em fase de elaboração ou quando já foi concluído.

Foi identificado um total de 778 ETEs nas áreas urbanas, em 535 municípios. Nos outros 243 municípios não há ETEs em nenhuma das categorias listadas. Com 363 empreendimentos (47%), em um total de 264 municípios, a categoria ETE em operação foi a mais numerosa (Figura 3.3). A implantação e ativação das 273 ETEs em projeto e das 65 em instalação, bem como a reativação das 28 paralisadas, podem representar um grande incremento no percentual de tratamento de esgoto do estado de Minas Gerais.

No entanto, a implantação das ETEs em projeto deve ser vista com ressalvas, pois muitos desses empreendimentos não possuem recursos para as obras, possuindo, portanto, baixa possibilidade de viabilização. As 49 ETEs desativadas, por sua vez, constituem motivo de preocupação, pois podem estar evidenciando a falta de planejamento na implantação, bem como as dificuldades de operação e manutenção desses empreendimentos.

Figura 3.3 - Panorama da situação das ETEs no estado de Minas Gerais.



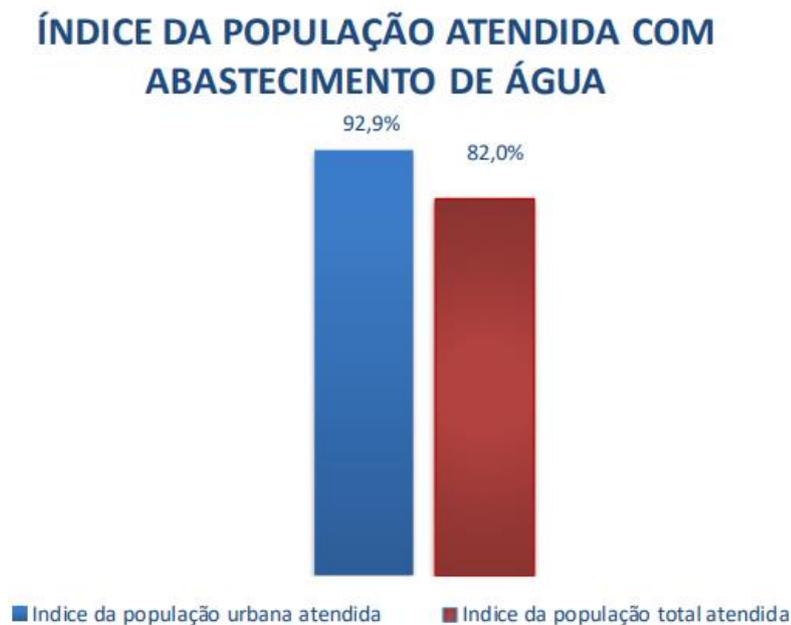
Fonte: FEAM (2016).

3.3 Panorama Atualizado do Sistema de Abastecimento de Água no Estado de Minas Gerais

Segundo dados repassados à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais (SEMAD), disponíveis no panorama de abastecimento e esgotamento sanitário do ano de 2021, o índice atendimento da população urbana com

abastecimento de água em Minas Gérias foi de aproximadamente 92,9%, o que corresponde a uma população de 16.868.138 habitantes e ao percentual de atendimento da população total (urbana e rural) de aproximadamente 82,0% (Figura 3.4).

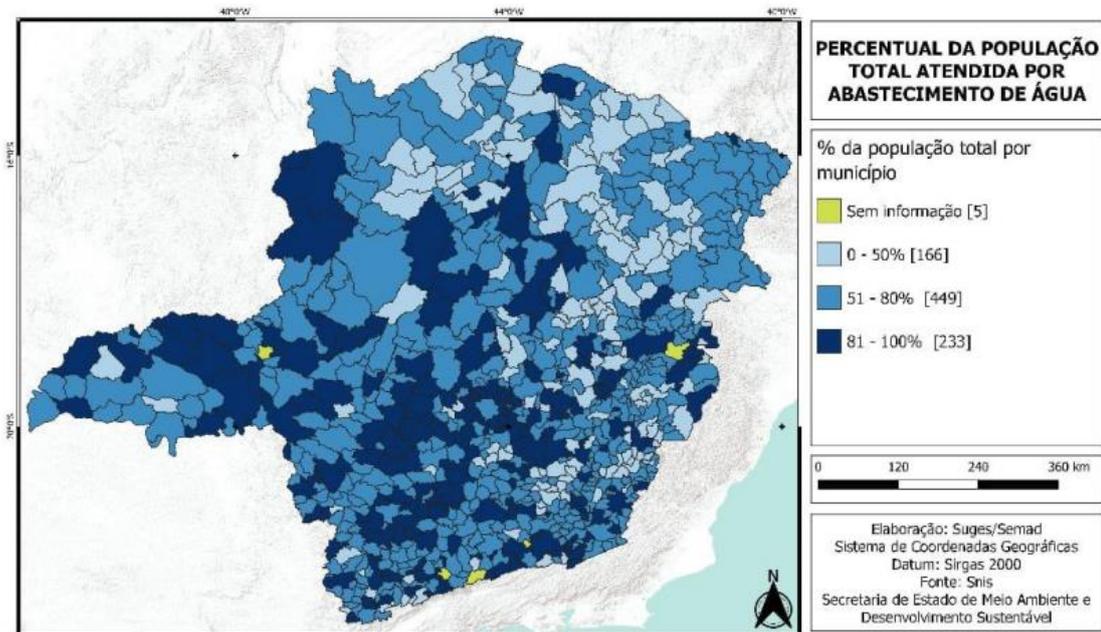
Figura 3.4 - Índice da população atendida com abastecimento de água



Fonte: SEMAD (2021).

A Figura 3.5 demonstra o percentual de atendimento total de água em Minas Gerais, sendo que os municípios com atendimento superior a 80% foram classificados como “atendimento bom”, entre 80% e 51% em “médio” e igual ou abaixo de 50% classificados como “baixo”. Dessa forma, é possível observar que aproximadamente metade dos municípios tem atendimento médio.

Figura 3.5 - Percentual da população total atendida com abastecimento de água



Fonte: DIRAP (2021).

Nesse sentido, é importante destacar que a água distribuída à população para consumo deve atender parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos de modo a não oferecer riscos à saúde (FUNASA, 2004). A Portaria GM/MS nº 888/2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade traz, em seus anexos, diversas tabelas citando os parâmetros, valores máximos permitidos e frequência de coleta e amostragem, dependendo do tipo de solução de abastecimento, tipo de manancial, sistema de tratamento, pontos de coleta, etc. Dentre os parâmetros básicos de potabilidade pode-se citar a *Escherichia coli*, turbidez, cor, cloro livre e residual, flúor, pH e temperatura, etc. Além desses, há uma extensa lista de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas que representam risco à saúde, agrotóxicos e cianotoxinas (BRASIL, 2021).

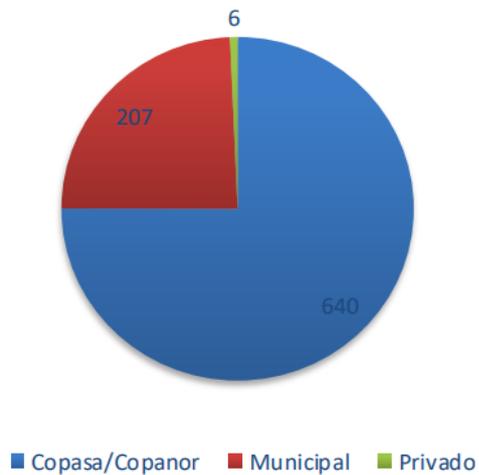
A Copasa é uma empresa estatal de economia mista, responsável pelos serviços de saneamento básico no estado de Minas Gerais, Brasil. Fundada em 1963, tem como missão fornecer água de qualidade e promover a coleta e tratamento de esgoto de forma sustentável. A COPANOR, por sua vez é uma subsidiária da Copasa, focada na prestação de serviços de saneamento básico na região Norte do estado de Minas Gerais. Sua criação foi motivada pela necessidade de

atender de maneira específica e eficiente as demandas dessa área geográfica, garantindo o acesso à água potável e o tratamento adequado de esgoto.

Em relação aos prestadores de serviço na sede dos municípios, identificou-se que a Copasa/Copanor está presente na maioria deles, cerca de 640 (Figuras 3.6 e 3.8). Em relação aos distritos a Copasa/Copanor atende a maioria das regiões, seguida pelas prefeituras municipais (Figura 3.7).

Figura 3.6 - Prestadores de serviço nas sedes dos municípios de MG

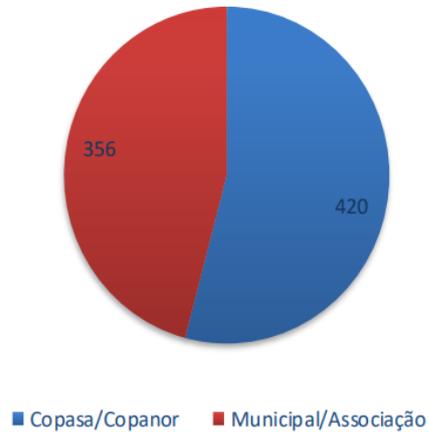
PRESTADORES DE SERVIÇO- SEDE



Fonte: SEMAD (2021).

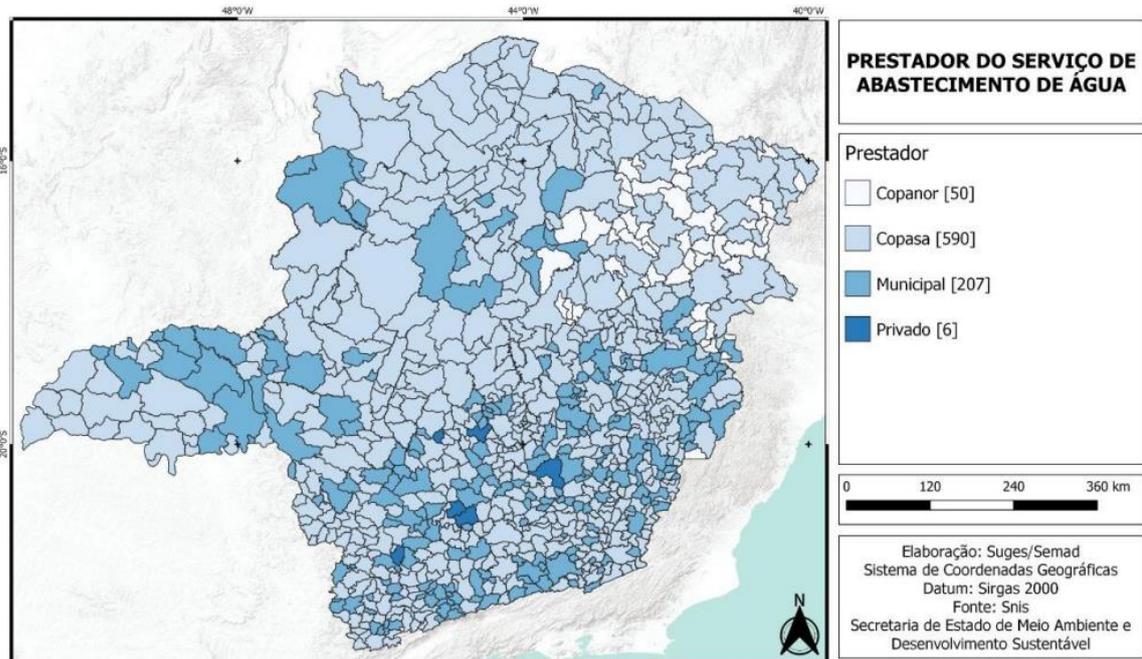
Figura 3.7 - Prestadores de serviço nos distritos dos municípios de MG.

PRESTADORES DE SERVIÇO - DISTRITOS



Fonte: SEMAD (2021).

Figura 3.8 - Mapa dos prestadores do serviço de abastecimento de água em Minas Gerais



Fonte: DIRAP (2021).

3.4 Perfil dos Resíduos Gerados nas Estações de Tratamento de Água

A operação de uma ETA incorre na geração subprodutos provenientes da lavagem dos filtros e de descarga/limpeza dos decantadores.

Assim, devido às características dos subprodutos gerados em ETAs, que são, em sua maioria, classificados como resíduos sólidos, uma vez que seu lançamento na rede pública de esgoto pode implicar na sedimentação e obstrução das redes.

Conforme Andreoli *et al.* (2006), os lodos de ETAs apresentam constituintes e características físicas semelhantes às matérias primas utilizadas nas peças cerâmicas. Pode também ser utilizado para confecção de substratos para plantas, incorporado em matriz de concreto, fabricação de agregados leves, como matéria prima para a indústria cimenteira, como agente de recuperação de áreas degradadas e como material de cobertura de células de aterros sanitários. Muitas vezes, os projetos de estações de tratamento simplesmente ignoram a forma de destino desse subproduto, que acaba sendo gerenciado em situação emergencial pelos operadores das estações, com altos custos financeiros e ambientais, comprometendo, em alguns casos, os benefícios de todo o sistema de coleta e tratamento de esgotos.

De acordo com o Relatório de Controle Ambiental (RCA), elaborado por CONSAG (2009), foi feita uma caracterização do lodo gerado na ETA Rio Manso, por meio de análises físico-químicas e posterior comparação aos valores máximos permissíveis no extrato lixiviado (Figura 3.9) e no extrato do ensaio de solubilização (Figura 3.10).

Figura 3.9 – Concentrações do lodo proveniente da UTR da ETA Rio Manso no Extrato Lixiviado

Parâmetro	VMP NBR 10004/2004 (mg/L)	Amostra Nº 1	Amostra Nº 2	Amostra Nº 3	Amostra Nº 4
<i>Inorgânicos</i>					
Arsênio	1,0		<0,01	<0,01	<0,005
Bário	70,0		<0,20	<0,60	<0,20
Cádmio	0,5		<0,005	<0,005	<0,005
Chumbo	1,0		<0,05	<0,05	-
Cromo total	5,0		<0,05	<0,05	<0,05
Fluoreto	150,0		<0,10	<0,13	-
Mercúrio	0,1		<0,001	<0,001	<0,001
Prata	5,0		<0,05	<0,05	<0,024
Selênio	1,0		<0,01	<0,01	<0,005
<i>Pesticidas</i>					
Aldrin + Dieldrin	0,003	ND			ND
Clordano	0,02	ND			ND
DDT	0,2	ND			ND
Heptacloro	0,003	ND			ND
Hexaclorobenzeno	0,1	ND			ND
Lindano	0,2	ND			ND
Metoxicloro	2,0	ND			ND
Toxafeno	0,5	ND			ND
Endrin	0,06	ND			ND

ND – Não detectado

Fonte: CONSAG (2009).

Os resultados indicam concentrações próximas aos limites máximos permissíveis dos compostos alumínio, ferro e manganês. O alumínio constitui-se no elemento básico do produto empregado como coagulante, o sulfato de alumínio. Da mesma forma, os sais de ferro são por vezes empregados em substituição ao sulfato de alumínio como agente da coagulação. Além disso, o ferro, assim como o manganês, é constituinte natural e sazonal da água bruta, não se constituindo em produto de impacto antropogênico.

Isso posto, seguindo os critérios da classificação da NBR 10004, o lodo proveniente da UTR da ETA do Sistema Rio Manso mostrou-se não patogênico, inflamável ou corrosivo, e não apresenta características de reatividade, não sendo, portanto, classificado como resíduos da Classe I – Perigosos.

Figura 3.10 – Concentrações do lodo proveniente da UTR da ETA Rio Manso no Extrato do Ensaio de Solubilização

Parâmetro	VMP NBR 10004/2004 (mg/L)	Amostra Nº 2	Amostra Nº 3	Amostra Nº 4
Aldrin e Dieldrin	3×10^{-5}	ND		ND
Alumínio	0,2	0,3		<0,2
Arsênio	0,01	0,01		<0,005
Bário	0,7	0,5		<0,20
Cádmio	0,005	<0,005		<0,005
Chumbo	0,05	<0,05		<0,05
Clordano	2×10^{-4}	ND		
Cloreto	250		200	80
Cromo total	0,05	<0,05		<0,05
DDT	2×10^{-3}	ND		ND
Endrin	6×10^{-4}	ND		
Compostos clorofenólicos	0,01			ND
Ferro	0,3	0,3		0,07
Fluoreto	1,5		<0,10	
Heptacloro	3×10^{-5}	ND		
Hexaclorobenzeno	1×10^{-3}	ND		
Lindano	2×10^{-3}	ND		
Manganês	0,1	<0,05		0,40
Mercúrio	0,001	<0,001		<0,001
Metoxicloro	0,02	ND		
Prata	0,05	<0,05		<0,024
Selênio	0,01	<0,01		<0,005
Sulfato	250		33,2	11
Toxafeno	5×10^{-3}	ND		
Zinco	5	<0,10		<0,003

Fonte: CONSAG (2009).

3.5 Perfil dos Resíduos Gerados nas Estações de tratamento de Esgoto

No caso das ETEs, a unidade já é o fim da linha no manejo dos efluentes, não fazendo sentido o lançamento de seus resíduos em redes de esgoto, muito menos diretamente em cursos d'água, visto que seu objetivo é recuperar a qualidade dos efluentes, visando devolvê-los aos ambientes aquáticos naturais em conformidade com às legislações ambientais vigentes.

Em relação a caracterização qualitativa dos lodos produzidos na ETE Arrudas, Silva, Sperling e Filho (2006) apresentam os valores médios das concentrações de sólidos nas três fases de investigação do tratamento do lodo da ETE Arrudas, por meio da figura 3.11, ao passo que a figura 3.12, resume as médias das variáveis operacionais do adensador por gravidade, digestor anaeróbio e desidratação por centrífuga.

Figura 3.11 – Concentrações Médias de Sólidos ao Longo da Fase Sólida da ETE Arrudas.

Local	Parâmetro	Concentração de sólidos (%)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Lodo primário	ST	3,72	2,43	4,38
Lodo secundário excedente	SST		0,70	0,59
Lodo adensado	ST	4,78	2,70	1,71
	SV	3,04	1,84	1,28
Lodo digerido (dig. primário)	ST	3,41	1,97	1,82
	SV	2,00	1,19	1,13
Lodo desidratado	ST	28,21	23,41	23,17

Fonte: SILVA, SPERLING E FILHO (2006).

Figura 3.12 – Valores Médios das Variáveis Operacionais das Unidades Componentes da Fase Sólida da ETE Arrudas

Unidade	Variável	Período		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3
Adensador por gravidade	Tempo de detenção hidráulica (h)	49	28	26
	Taxa de aplicação de sólidos (kgST/m ² .d)	64	46	19
	Captura de sólidos (%)	18	21	66
Digestor anaeróbio	Tempo de detenção hidráulica (d)	35	47	22
	Carga orgânica volumétrica (kgSV/m ³ .d)	0,90	0,32	0,90
	% de remoção de SV (%)	37	36	43
	Relação SV/ST	0,58	0,61	0,62
	Relação acidez/alcalinidade	-	0,07	0,07
	pH	7,5	7,2	7,1
	Temperatura (°C)	27,6	26,6	26,4
Desidratação (centrífuga)	Concentração de lodo afluyente (%) (dig. secundário)	-	3,06	2,56
	Captura de sólidos (%)	-	77	75
	Concentração média de ST na torta desidratada (%)	28,3	23,4	23,2
	Volume diário da torta (m ³ /dia)	33	33	50
	Concentração de ST no líquido drenado (%)	0,57	0,88	0,69

Fonte: SILVA, SPERLING E FILHO (2006).

Embora o lodo biológico normalmente seja o maior e mais importante componente, outros tipos de resíduos sólidos são retidos em diferentes operações nos sistemas de tratamento. Assim,

conforme descrito por Andreoli *et al.* (2006), estes resíduos sólidos se compõem dos seguintes tipos:

Material gradeado ou sólidos grosseiros. Consiste no material que não deveria estar na água residuária, mas foi colocado por imperícia ou negligência. O material deve ser retido no tratamento preliminar de gradeamento, de modo a não provocar danos nos equipamentos mecânicos de bombeamento e pontes giratórias de decantadores, obstruções em tubulações, etc. Normalmente a disposição final do material gradeado é o aterro sanitário. No caso de esgoto bruto pode-se esperar em torno de 30 a 90 L de sólidos grosseiros por 1000 m³ de esgoto;

Sólidos inorgânicos como areia e silte. Este material é removido aproveitando-se a diferença de densidade (areia 2,65 kg/L, orgânicos 1 a 1,1 kg/m³), o que permite a separação por sedimentação simples em uma caixa de areia ou usando um ciclone. A sua remoção se torna importante por duas razões: (1) se a areia for acumulada no sistema de tratamento, o assoreamento poderá, rapidamente, provocar sérios problemas operacionais e eventualmente inviabilizar seu funcionamento e (2) o material é extremamente abrasivo, sendo necessário a sua remoção de modo a não provocar desgastes nos equipamentos mecânicos. Normalmente, a disposição final da areia é feita em aterro sanitário. Em esgoto bruto espera-se na faixa de 20 a 60 L de areia por 1000 m³, dependendo de vários fatores, entre outros a qualidade de rede de esgoto (introdução de água pluvial com arraste de sólidos das ruas);

•Material flutuante ou espuma, que se compõe de materiais com densidade menor que a água como óleos, graxas, plástico, papel, resíduos de alimentos, etc. Este material é retirado através de raspagem superficial dos decantadores e da superfície de câmaras de gás de reatores anaeróbios e é encaminhado por bombas para outros métodos de tratamento ou disposição como aterro sanitário, digestor anaeróbio, etc. A quantidade de material flutuante é pequena (3 a 12 kg/1.000 m de esgoto), mas pode ter um efeito negativo sobre o funcionamento de processos biológicos, notadamente a digestão anaeróbia;

•Lodo, termo utilizado para designar os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgoto. Distingue-se, lodo primário (material sedimentável no esgoto bruto) gerado nos processos de tratamento primários e lodo secundário, produzido nos sistemas de tratamento biológico. Estes materiais têm alto teor de material orgânico, nitrogênio e fósforo e, a princípio, podem ser utilizados como fertilizante na agricultura após tratamento adequado. Nas próximas seções se mostra que a massa de lodo volátil (a fração orgânica do lodo) produzida é em torno de 0,1 (sistemas anaeróbios) a 0,3 (sistemas aeróbios) kg de lodo por kg de DQO em esgoto

bruto. A fração inorgânica produzida de lodo (sólidos fixos) é na faixa de 0,05 kg de lodo por kg de DQO aplicada no caso de esgoto bruto.

Nesse sentido, embora estes resíduos sejam de composição bastante variável de ETE para ETE, em função de peculiaridades regionais e dos processos em que são gerados, em geral apresentam em sua constituição elementos de grande valor, possibilitando seu uso como matéria prima ou insumo de processos industriais, agrícolas, energético, dentre outros. No lodo biológico de esgoto, por exemplo, podem ser citados os nutrientes (macro e microelementos), elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, e a matéria orgânica, fundamental para sustentabilidade de solos, fonte de energia, combustível, entre outros. O poder calorífico da fração sólida volátil do lodo de esgoto pode chegar a 3,3 kWh/kg, semelhante ao da lenha, possibilitando uso como combustível. A concentração de NPK pode exceder a 4% do material, equivalente a 75 a 100 R\$/t base seca. (ANDREOLI *et al.*, 2006).

De acordo com a literatura técnica, as fases de processamento e destinação do lodo gerado no tratamento de esgotos podem resultar em até 60% do total de seu custo de operação de uma ETE¹. Considerando essa informação, corrobora-se a pertinência do desenvolvimento de outros estudos abordando a questão do manejo de resíduos nas estações, pois trata-se de função precípua do tratamento, pelo qual os usuários estão pagando através de tarifas.

3.6 Manejo dos Resíduos

No caso de ETAs de maior porte, pode ser necessário que o prestador de serviços implante estruturas operacionais específicas para o manejo dos resíduos, como é o caso das Unidades de Tratamento de Resíduos (UTRs), que já são exigidas pelo órgão ambiental para ETAs com vazão superior a 20 L/s, conforme DN COPAM nº 153, de 26 de julho de 2010 (atualizada pela DN Copam nº 245/2022).

Já para ETAs e ETEs de pequeno porte, admite-se a possibilidade de que os resíduos sejam encaminhados para outras unidades operacionais para tratamento, ou mesmo gerenciados internamente. Neste caso, estas estações, com vazões inferiores às mencionadas, são

¹ VON SPERLING, M. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p

dispensadas do processo de licenciamento, mas devem manter algumas obrigações (COPAM, 2017):

Art. 10, Parágrafo único – A dispensa prevista do caput não exime o empreendedor do dever de:

I – obter junto aos órgãos competentes os atos autorizativos para realizar intervenções ambientais bem como para intervir ou fazer uso de recurso hídrico, quando necessário;

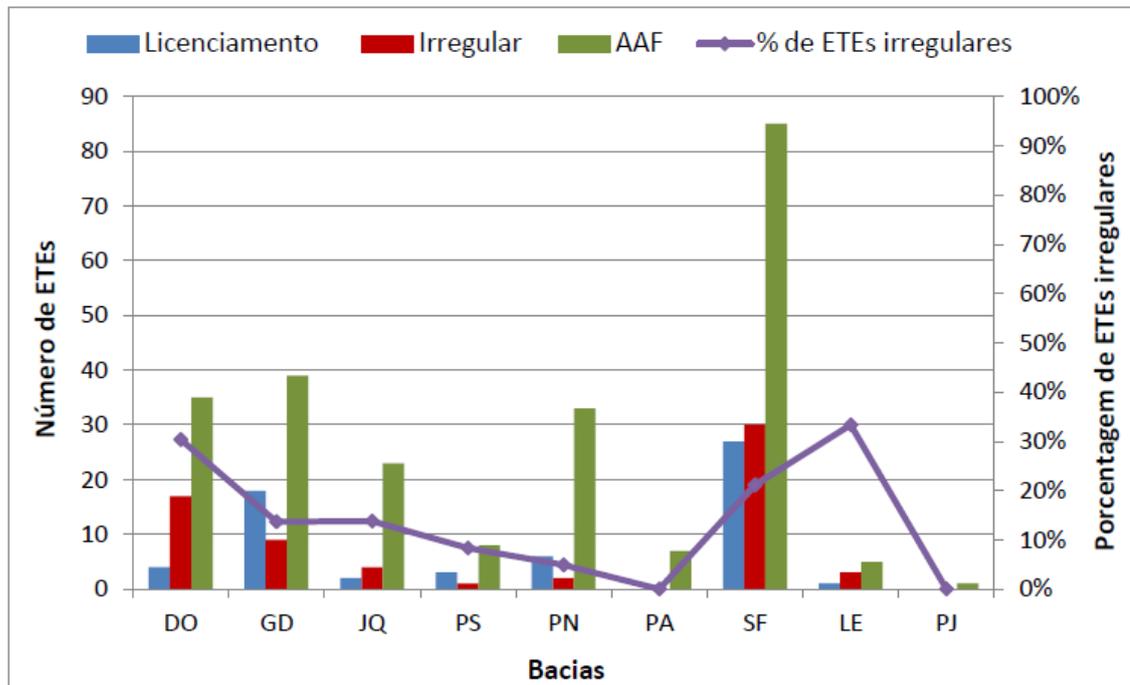
II – implantar e manter os controles ambientais para o exercício da atividade; e

III – obter outras licenças, autorizações, alvarás, outorgas e certidões previstas em legislação específica

3.7 Licenciamento Ambiental das Unidades

De acordo com FEAM (2016), a bacia do São Francisco possui um total de 142 ETEs, sendo a região que possui o maior número absoluto de empreendimentos em todas as categorias analisadas (85 AAF, 27 LO e 30 irregulares). O menor número de ETEs nos municípios das Bacias do Rio Pardo, Rios do Leste e Rios Piracicaba e Jaguari não deve ser visto apenas como uma deficiência em relação às outras, mas uma consequência de uma menor área de abrangência no estado de Minas Gerais. A Figura 3.13 mostra o panorama da regularização ambiental das ETEs nas regiões de estudo.

Figura 3.13 - Panorama da situação das ETEs quanto à regularização ambiental nas bacias hidrográficas de Minas Gerais.



Fonte: FEAM (2016).

Para a regularização ambiental das estações, foram editadas normas específicas que convocam municípios para o licenciamento ambiental. São elas:

- Deliberação Normativa Copam nº 245/2022: substitui a Deliberação Normativa Copam nº 153/2010 e estabelece prazos para a regularização ambiental de sistemas de tratamento de água e dá outras providências. Essa DN convoca para o licenciamento ambiental os responsáveis por sistemas de tratamento de efluentes de ETA com vazão atual superior a 20 l/s, conforme os seguintes prazos:

Art. 1º (...)

I – municípios com ETAs com capacidade de tratamento superior a 500 l/s devem formalizar, até julho de 2022, o processo de regularização ambiental da ETA com a Unidade de Tratamento de Resíduo – UTR;

II – municípios com ETAs com capacidade de tratamento superior a 200 l/s até 500 l/s devem formalizar, até julho de 2022, o processo de regularização ambiental da ETA com a UTR;

III – municípios com ETAs com capacidade de tratamento superior a 100 l/s até 200 l/s devem formalizar, até dezembro de 2022, o processo de regularização ambiental da ETA com a UTR;

IV – municípios com ETAs com capacidade de tratamento superior a 20 l/s até 100 l/s, devem formalizar, até julho de 2023, o processo de regularização ambiental da ETA com a UTR.

§ 1º – Quando da formalização do processo de licenciamento ambiental, deve ser apresentado projeto da UTR com respectivo cronograma de execução que não deve ultrapassar dezembro de 2024.

§ 2º – A convocação de que trata o caput deste artigo não se aplica aos Sistemas de Tratamento de Efluentes de ETA que já tenham sido convocados para a regularização ambiental ou com prazos determinados por Termo de Ajustamento de Conduta ou similar.

- Deliberação Normativa Copam nº 96/2006: convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências;

Considerando que a maioria dos municípios no Estado de Minas Gerais lança os esgotos sanitários “in natura” em corpos d’água;

Considerando que o lançamento de esgotos sanitários “in natura” em corpos d’água provoca a degradação da qualidade das águas prejudicando usos à jusante, possibilitando a proliferação de doenças de veiculação hídrica e provocando a geração de maus odores;

Considerando que dos 853 (oitocentos e cinquenta e três) municípios do Estado, cerca de 97% (noventa e sete por cento) lançam os esgotos brutos nos corpos d’água e que a Lei Estadual nº 2.126/60 e as Leis Federais nº 6.938/81 e 9.605/98 vedam o lançamento de efluentes não tratados nos cursos d’água;

DELIBERA:

Art. 1º - Ficam convocados para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos os municípios com população urbana superior a 30.000 (trinta mil) habitantes (Censo 2000) e os municípios, Serro, Tiradentes, Conceição do Mato Dentro e Ouro Branco cortados pela Estrada Real, definida no Programa de Incentivo ao Desenvolvimento do Potencial Turístico da Estrada Real criado pela Lei nº 13.173, de 20 de janeiro de 2005,

- Deliberação Normativa Copam nº 128/2008: altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa Copam nº 96/2006.

Considerando que cerca de 82% (oitenta e dois por cento) dos municípios enquadrados nos Grupos 1 ao 5 definidos na Deliberação Normativa COPAM n.º 96/2006 iniciaram, a partir de sua publicação, a formalização de processos de regularização ambiental para as Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs;

Considerando que os municípios que possuem Licença de Instalação para construção de ETEs necessitam buscar recursos em fontes financiadoras e que tal processo demanda tempo;

DELIBERA:

Art. 1º Ficam prorrogados os prazos estabelecidos no Artigo 1.º da Deliberação Normativa COPAM n.º96, de 12/04/2006, publicada em 25/05/2006, para formalização dos processos de Licença Prévia, Licença de Instalação, Licença de Operação e Autorização Ambiental de Funcionamento para as Estações de Tratamento de Esgoto dos municípios mineiros, conforme quadro contido no Anexo Único desta Deliberação Normativa.

Os critérios e prazos para regularização ambiental das ETEs estão descritos na Figura 3.14:

Figura 3.14 - Critérios e prazos para regularização ambiental dos sistemas de tratamento de esgoto segundo às Deliberações Normativas nº 96/2006 e nº 128/2008.

Grupo	População Urbana (CENSO 2000)	Número de municípios	Licença Prévia - LP	Licença de Instalação - LI	Licença de Operação - LO	Requisito mínimo de:		Autorização Ambiental de Funcionamento -AAF
						População Atendida	Eficiência de Tratamento	
1	pop. = 150 mil	13	13/11/2008	30/04/2010	30/10/2010	-	-	-
2	30mil = pop.< 150mil. Índice de coleta de esgotos > 70%	20	-	-	28/08/2010	-	-	-
3	50mil = pop. = 150mil. Índice de coleta de esgotos < 70%	26	-	-	30/09/2010	-	-	-
4	30mil = pop < 50mil. Índice de coleta de esgotos < 70%	22	-	-	28/08/2010	-	-	-
5	Municípios Estrada Real	4	-	-	-	-	-	30/04/2009
6	20 mil = pop. < 30 mil	33	-	-	-	20%	40%	31/10/2009
						60%	50%	31/03/2012
						80%	60%	31/03/2017
7	Pop. < 20 mil	735	-	-	-	80%	60%	31/03/2017

Fonte: FEAM (2016).

3.8 Disposição Final de Lodos de ETE

Conforme Andreoli *et al.* (2006), mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final meio de três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola.

A disposição em aterros requer cuidados especiais em relação à seleção de local, às características de projeto que evitem a percolação de lixiviado, à drenagem dos gases gerados e ao tratamento do chorume produzido, assim como à uma operação eficiente que evite a proliferação de vetores. Por conseguinte, a reciclagem agrícola implica a garantia de fornecimento de insumo de boa qualidade à agricultura, com seleção criteriosa, escolhendo áreas e culturas aptas com a orientação técnica adequada ao produtor rural e realizando o monitoramento ambiental. A rentabilidade do uso de bio-sólidos é uma forma de garantir o interesse contínuo dos agricultores e, conseqüentemente, a sustentabilidade do processo. (ANDREOLI *et al.*, 2006).

No Brasil, a disposição de lodo de esgoto doméstico na agricultura segue a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 375/06) (BRASIL, 2006). Entre os procedimentos dessa resolução estão aqueles relacionados ao licenciamento, à frequência de monitoramento do lodo, à elaboração de projeto agrônômico e às condições de manuseio, transporte e aplicação do material. O documento também estabelece critérios para culturas e áreas agrícolas aptas a receber o material, para restrições locais, para definição de dose de aplicação e para o monitoramento das áreas de aplicação. Entre os requisitos de qualidade do lodo, são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, a Resolução CONAMA nº 375/06 exige o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2006).

Dessa forma, em escala global, a reciclagem agrícola emerge como a opção mais promissora para impulsionar o crescimento, devido à crescente demanda por produção de alimentos em larga escala. As restrições ambientais cada vez mais rigorosas incentivam a redução da quantidade de resíduos orgânicos destinados a aterros sanitários, favorecendo a adoção dessa alternativa.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A escolha da ETA Rio Manso e da ETE Arrudas para este estudo não se restringe apenas aos critérios de porte, mas também à sua relevância fundamental no abastecimento de água para o sistema integrado da RMBH e à expressiva quantidade de efluente tratado. Como decorrência dessas atividades, há uma produção substancial de resíduos sólidos.

Dessa forma, além de serem consideradas unidades de referência para a Copasa, a análise dos resíduos gerados por essas instalações pode oferecer contribuições significativas para a academia, especialmente no contexto da gestão sustentável dos subprodutos resultantes desses processos, promovendo práticas mais eficientes e sustentáveis no setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário

4.1.1 Estação de Tratamento de Água do Sistema Rio Manso

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (PMS 2020/2023), o Sistema Rio Manso foi inaugurado em 1991 e compõe o Sistema Integrado da Bacia do Paraopeba, junto com os sistemas Serra Azul e Vargem das Flores.

A seguir são apresentadas algumas características importantes acerca desse sistema:

Área de Influência: municípios de Ibirité, Mário Campos, Betim, Contagem, Belo Horizonte, Ribeirão das Neves, Pedro Leopoldo, Sarzedo, Igarapé, Citrolândia, São Joaquim de Bicas e parte dos municípios de Vespasiano, São José da Lapa e Lagoa Santa, Esmeraldas e Santa Luzia.

Captação: realizada em barragem de regularização, no Município de Brumadinho, Distrito de Conceição do Itaguá, represando as águas do Rio Manso e formando um lago com área inundada de 19 km² e volume útil de 121.000.000 m³. A barragem possui 580 m de extensão e altura de 54 m. A tomada d'água é feita através de uma torre em concreto armado, com quatro comportas para captação situadas em níveis diferentes.

Adutora de Água Bruta 1: interliga a Torre de Tomada à Estação Elevatória de Água Bruta (EAB-2), tendo sido executada em aço, com diâmetro de 3.100 mm e extensão de 460 m.

Estação Elevatória de Água Bruta (EAB-2): responsável pelo recalque de água bruta até a ETA. A unidade conta com três conjuntos motobomba com capacidade de 2.100 L/s cada e quatro conjuntos motobomba com capacidade de 600 L/s cada.

Adutora de Água Bruta 2: interliga a Elevatória de Água Bruta 2 à ETA, através de tubulação em aço, com diâmetro de 1.600 mm e extensão de 820 m.

Estação de Tratamento: do tipo convencional, com oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH.

Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR): destinada a tratar a descarga dos decantadores da ETA e a recuperar a água de lavagem dos filtros, consiste basicamente de decantadores secundários, adensadores, lagoa de secagem dos lodos, elevatórias e casa de química.

Estação Elevatória de Água Tratada (EAT-3): responsável pelo recalque da ETA até a Câmara de Transição CT-4, é equipada com sete conjuntos motobomba, sendo dois de 420 L/s, três de 1.020 L/s e outros dois de 2.200 l/s cada.

Adutora de Água Tratada 1: adução por recalque, feita em duas tubulações de aço, com diâmetro de 1.500 mm e 1.700 mm e extensões de 2.000 m e 2.040 m respectivamente, interligando a EAT-3 à Câmara de Transição CT-4.

Câmara de Transição CT-4: localizada entre a EAT-3 e o reservatório R-7, possui duas câmaras sendo uma com capacidade de armazenamento de 930 m³ com diâmetro de 8 m e altura de 21 m e a outra de 1.450 m³ com diâmetro de 10 m e altura de 21 m.

Adutora de Água Tratada 2: interliga, por gravidade, a CT-4 ao reservatório R-7, por meio de duas tubulações em aço, com diâmetros de 1.500 mm e 1.800 mm e extensão de 16.600 m e 9.200 m respectivamente.

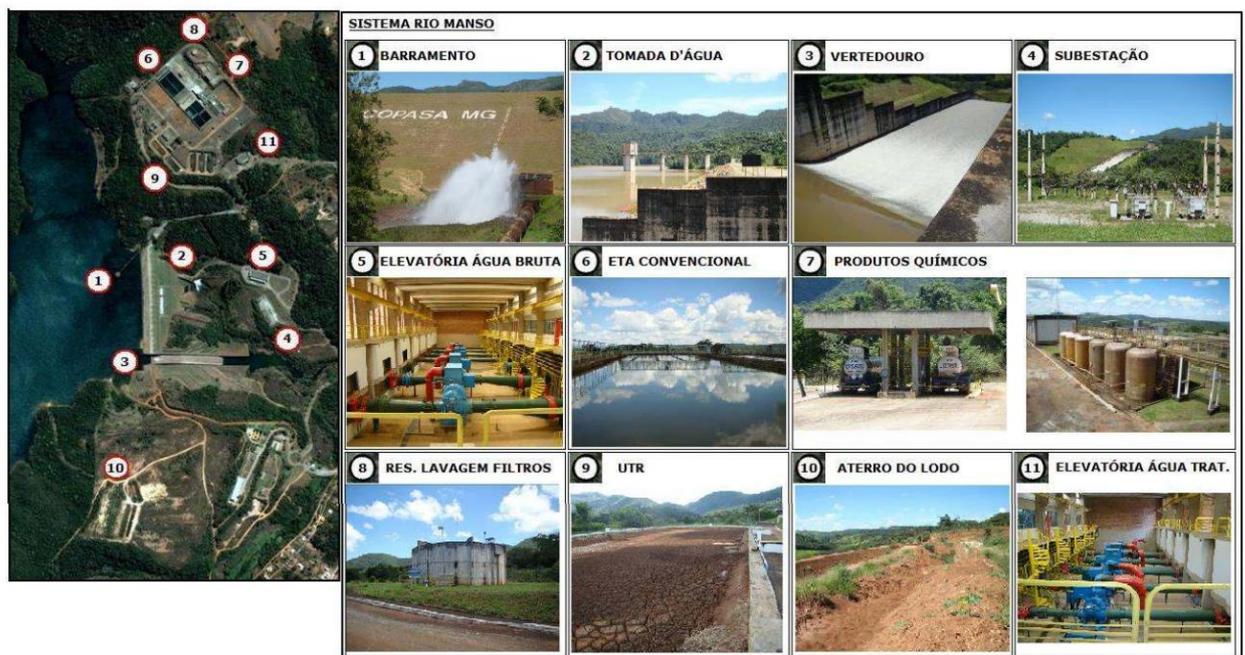
Reservatório de Água Tratada R-7: composto por duas câmaras, sendo uma semienterrada, em concreto armado, com capacidade de 10.000 m³ e outra em aço com revestimento vitrificado apoiado em superfície de concreto armado com capacidade de 10.000 m³.

Estação Elevatória de Água Tratada (EAT-4): responsável pelo recalque do reservatório R-7 até o reservatório R-6, é equipada, atualmente, com sete conjuntos motobomba, sendo dois de 470 L/s, três de 1.060 L/s e outros dois 2.200 l/s localizando-se junto ao reservatório R-7.

Adutora de Água Tratada 3: interliga a EAT-4 ao reservatório R-6, por meio de tubulação em aço, com diâmetro de 1.500 mm e extensão de 6.400 m.

Reservatório R-6: com capacidade de 21.000 m³, é também o ponto de chegada da adutora do Sistema Rio Manso. Tem função de reservatório de distribuição, além de servir como reservatório de compensação da EAT-5. É o ponto de interligação deste com o Sistema Rio Manso.

Figura 4.1 - Unidades do Sistema Rio Manso (SRM).



Fonte: CONSAG (2009).

Ainda de acordo com o RCA elaborado por CONSAG (2009), a Unidade de Tratamento de Resíduos (UTR) do Sistema Rio Manso (Figura 4.3), processa e reduz os resíduos gerados no tratamento através do seu adensamento e posterior desidratação natural, sendo a água recuperada no processo recirculada para a ETA. A UTR conta com dois decantadores de fluxo horizontal de 780 m³ cada, destinados à separação dos sólidos gerados na lavagem dos filtros; dois adensadores circulares mecanizados de 143 m³ cada; casa de química, elevatória de lodo adensado, elevatória de lodo sedimentado, elevatória de água recuperada e cinco lagoas de lodo com 2.013 m³ cada.

Os lodos sedimentados nos decantadores são descarregados em intervalos variáveis, após raspagens de fundo de cada decantador. Este procedimento é realizado por raspadores mecanizados tipo monorake instalados em cada um dos quatro decantadores da ETA. Após as raspagens, o lodo é acumulado em cinco pirâmides invertidas dotadas de válvulas automáticas para a descarga do lodo. Após a descarga, o lodo é conduzido por gravidade aos adensadores da UTR, por meio de tubulação de ferro fundido de 300 mm, numa extensão de 160 metros.

O lodo descarregado, antes da sua entrada nos adensadores, recebe a aplicação de polieletrólito aniônico, necessário para que o lodo se adense por sedimentação floculenta. A água recuperada é recirculada para a entrada da ETA, e o lodo adensado é encaminhado até as lagoas de lodo, para desidratação natural. Atualmente, a Copasa vem também utilizando experimentalmente, para a desidratação, “bags” em tecido geotêxtil instalados no interior de uma das lagoas (Figura 4.4).

A água proveniente das lavagens dos filtros é encaminhada, por gravidade, para os decantadores da UTR, em que os resíduos são sedimentados. A água decantada é recirculada para a ETA, através da elevatória de água recuperada, e o sedimentado é recalado para os adensadores, após aplicação de polieletrólito.

Uma vez que a produção de resíduos na ETA é intermitente, as unidades da UTR trabalham por batelada. Os decantadores da UTR recebem o volume correspondente a uma lavagem de filtro, cerca de 550 m³, sendo necessário cerca de 1 hora para sua sedimentação. Após este período, a água decantada é recirculada por bombeamento até a entrada da ETA, e o lodo sedimentado é recalado até os adensadores.

Após a secagem do resíduo nas lagoas ou nos “bags”, são feitos os procedimentos para retirada, transporte e disposição em aterro controlado, localizado próximo à ETA do Sistema Rio Manso, em área pertencente à Copasa.

Figura 4.3 - Unidades integrantes da UTR do SRM.



Fonte: CONSAG (2009).

A UTR é dotada de uma Casa de Química, que abriga a estocagem e a dosagem do polieletrólito utilizado no processo, além de laboratório para controle do processo, instalações sanitárias e vestiário para os operadores, e sala de controle operacional. O preparo da solução do polieletrólito é feito em tanques de concreto, e a dosagem é efetuada por bombas dosadoras de diafragma.

Figura 4.4 - Desidratação do lodo em sacos geotéxteis.



Fonte: CONSAG (2009).

4.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto Arrudas

A ETE Copasa – Ribeirão Arrudas está localizada na divisa dos municípios de Belo Horizonte e Sabará, à margem esquerda do ribeirão Arrudas, na bacia hidrográfica do rio das Velhas (Figura 4.5). Em seu novo processo de licenciamento ambiental do ano de 2022, foi pleiteada uma ampliação para vazão média de 3.375 l/s. O processo de tratamento de esgotos da ETE Arrudas é do tipo lodos ativados convencional e o efluente tratado é lançado no Ribeirão Arrudas.

Figura 4.5 – Imagem de satélite ETE Arrudas (portaria em BH e unidades do sistema)



Fonte: SURAM (2022).

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017, trata-se de um empreendimento de porte “Grande” e potencial poluidor/degradador “Médio”, enquadrando-se como Classe 4.

Ainda, de acordo com o disposto no parecer técnico DISAN nº 152/03, presente no parecer da Subsecretaria de Regularização Ambiental, SURAM (2022), que subsidiou o julgamento da concessão da Licença de Operação (LO) da ETE Arrudas:

“O projeto previa o atendimento de uma população de 720.00 habitantes em início de plano (2001) e 1.647.257 habitantes em fim de plano (2020), que correspondem às vazões médias de 1,50 m³/s e 4,50 m³/s, com índices de atendimento de 64% e 96%, respectivamente. A Copasa informou que, de acordo com os novos estudos de crescimento populacional e consumo per capita, a vazão média de 4,5 m³/s somente ocorrerá em 2030, quando da saturação da bacia do ribeirão Arrudas. Dessa forma, a ETE foi implantada com tratamento primário para a vazão de 4,5 m³/s e terá o tratamento secundário etapalizado em 2 módulos de 2,25 m³/s, tendo sido implantado o primeiro módulo”.

A ETE Arrudas trata parte dos esgotos sanitários gerados na bacia do ribeirão Arrudas, recebendo parte das contribuições dos municípios de Belo Horizonte e Contagem, que correspondem com 83% e 17% da vazão afluyente à ETE Ribeirão Arrudas, respectivamente.

O processo de tratamento de esgotos da ETE Arrudas é do tipo lodos ativados convencional. Sua operação foi iniciada em outubro de 2001, somente com o tratamento primário, atingindo uma vazão média de 1.100 L/s. Em janeiro de 2003, teve início a operação das demais unidades de tratamento.

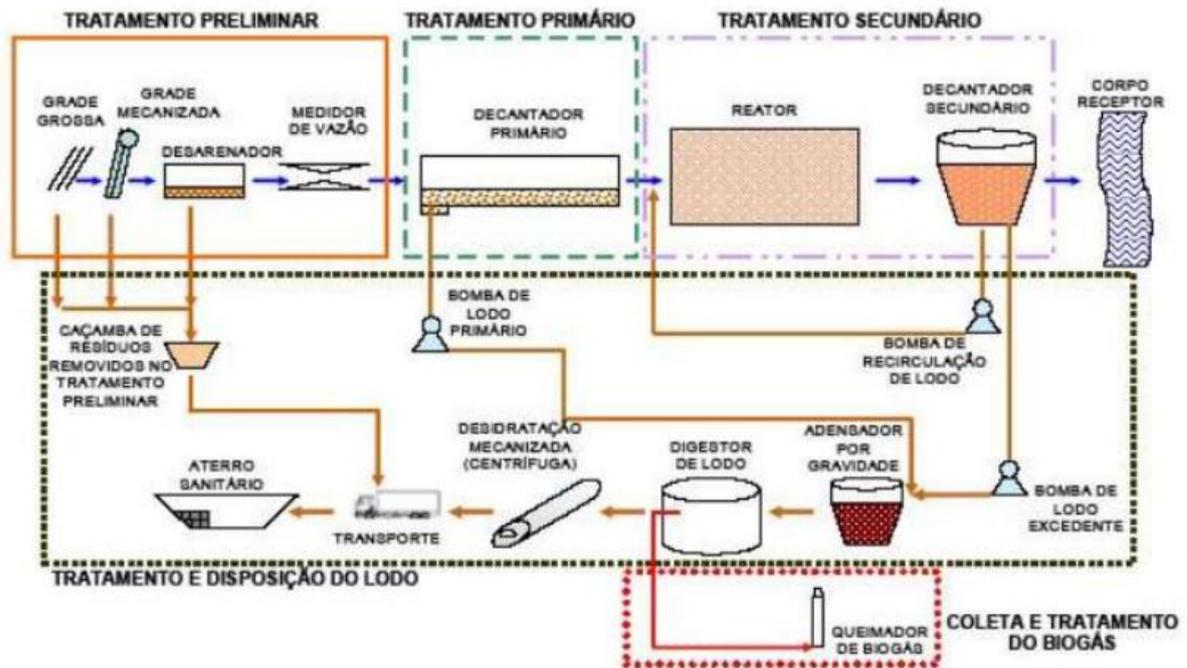
A ETE Arrudas é composta pelas seguintes unidades de tratamento:

- **Tratamento preliminar:** composto por grade grossa, grade fina mecanizada e desarenador, com função de remover sólidos grosseiros e areia, objetivando proteger os dispositivos de transporte de esgotos (bombas e tubulações) e unidades subsequentes. Após o desarenador, a ETE Arrudas conta, ainda, com um medidor de vazão tipo Parshall;
- **Tratamento primário:** composto por decantadores primários. Estes permitem que os sólidos em suspensão, com densidade maior que o líquido, sedimentem gradualmente no fundo.
- **Tratamento secundário:** tem como objetivo principal a remoção de matéria orgânica. A ETE Arrudas, por utilizar o sistema de lodos ativados convencional, tem como unidades de tratamento secundário os tanques de aeração (reatores) e os decantadores secundários.
- **Tratamento e disposição do lodo:** composto por adensadores de lodo por gravidade que produzem o aumento da concentração de lodo por sedimentação, reduzindo seu volume e teor de umidade; digestores anaeróbios que são responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e redução dos sólidos voláteis. Também compõe o tratamento da fase sólida a desidratação mecânica (centrifugas) e o destino final do lodo desidratado, juntamente com os sólidos recolhidos no tratamento preliminar.

Outras unidades da ETE Arrudas consistem de um Centro de Pesquisas da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, e de um Centro de Educação Ambiental – CEAM, destinado a Programas de Educação Ambiental, tais como visitas monitoradas à ETE Arrudas e exposição a um aquário com espécies de peixes da bacia do Rio das Velhas abastecido, em parte, com o efluente tratado da ETE Arrudas.

A Figura 4.6, apresentada a seguir, representa o fluxograma das etapas de tratamento dos efluentes da ETE Arrudas.

Figura 4.6 - Fluxograma do processo de tratamento da ETE Arrudas.



Fonte: SURAM (2022).

As unidades que compõem o tratamento preliminar e primário já se encontram implantadas para atender a vazão média de final de plano da ETE Arrudas. Assim, não foram construídas novas unidades destes tratamentos nesta fase de ampliação.

A Tabela 4.1 apresenta um resumo do quantitativo anterior, ampliado e total após ampliação das unidades que compõem a ETE Arrudas.

Tabela 4.1 – Unidades da ETE Arrudas pré e pós ampliação

Tratamento	Unidades	Quantidade		
		Antes	Ampliação	Total
Preliminar	Grade Grossa	1	-	1
	Grade Fina Mecanizada	4	-	4
	Desarenador	3	1	4
Primário	Calha Parshall	1	-	1
	Decantador Primário	6	-	6
Secundário	Tanque de Aeração (Reator de Lodo Ativado)	2	1	3
	Decantador Secundário	6	2	8
	Bomba Parafuso (Recirculação do lodo)	2	1	3
Fase Sólida (lodo)	Adensador de Lodo por Gravidade	2	-	2
	Flotador	-	2	2
	Digestores (Anaeróbios e Aeróbios)	4	3	7
	Desidratação Mecânica (Centrífuga)	2	1	3

Fonte: Adaptado de SURAM (2022).

O efluente tratado na ETE Arrudas é lançado no Ribeirão Arrudas. Os resíduos sólidos gerados na operação da ETE (material retido nas grades, areia removida dos desarenadores) são dispostos no aterro sanitário de Macaúbas do município de Sabará, por meio de um Termo de Cooperação técnica que entre si celebram a Copasa e a Vital Engenharia Ambiental S.A. O biogás produzido nos reatores é coletado, medido e posteriormente queimado para geração de energia.

Os principais resíduos sólidos gerados na ETE Ribeirão Arrudas são aqueles provenientes do tratamento preliminar (resíduos sólidos grosseiros e areia), bem como o lodo desidratado gerado na central de lodo. Há, ainda, os resíduos de características domésticas gerados nas infraestruturas de apoio, bem como resíduos perigosos Classe I (óleo mineral usado, resíduos contaminados com óleo e graxa) gerados na manutenção de equipamentos.

Na Pequena Central Termelétrica (PCT) os resíduos sólidos são provenientes do sistema de tratamento de gases, bem como àqueles gerados na manutenção de equipamentos e resíduos de características domésticas.

Dentre as medidas mitigadoras, podemos citar que, os resíduos sólidos gerados no empreendimento são armazenados temporariamente segregados em coletores/tambores com tampa e em caçambas até a sua destinação ambientalmente adequada para o aterro sanitário denominado Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas (CTR-Macaúbas), no município de Sabará, por meio de um Termo de Cooperação Técnica que entre si celebram a Copasa e a Vital Engenharia Ambiental S.A.

Os resíduos perigosos Classe I (óleo mineral usado, resíduos contaminados com óleo e graxa) são acondicionados em tambores para posterior destinação à empresa LOCTR Tecnologia de Resíduos S.A.

O carvão ativado proveniente da troca dos filtros da PCT é armazenado temporariamente em tambores de 200 litros com destinação final para o aterro sanitário CTR-Macaúbas, tendo em vista se tratar de resíduo Classe II A - Não perigoso – não inerte, segundo a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), conforme laudo de análise de amostras do resíduo, apresentado sob protocolo SIAM R449992/2013, no âmbito do processo administrativo COPAM nº 00107/1989/008/2010.

4.2 Base de Dados

A pesquisa foi desenvolvida a partir da análise de dados secundários, que foram repassados, tanto pela Fundação Estadual do Meio ambiente (FEAM), inseridas pelo prestador por meio Sistema MTR- Manifesto de Transporte de Resíduos de Minas Gerais, quanto pelos dados repassados diretamente pela própria prestadora de serviços no Estado de Minas Gerais (Copasa). Após, os dados obtidos pelas diferentes fontes foram confrontados por meio de uma análise manual dos documentos. Os dados foram inseridos no *Microsoft Excel*, com o intuito de apurar a consistência das informações.

É importante ressaltar que os dados repassados pela Copasa para realização do presente estudo, foram encaminhados por meio da Comunicação Externa CE nº 048/2023 USPA. No documento apresentado, o prestador encaminhou os valores médios do quantitativo de resíduo gerado nos processos unitários de tratamento da ETE Arrudas, bem como o quantitativo de lodo gerado na série histórica de 2020 a 2022.

O documento informa ainda, o tratamento/disposição final dada aos resíduos, bem como os dados relativos à gestão dos resíduos na UTR da ETA Rio Manso, de 2020 a 2022. Os dados foram disponibilizados pelo prestador sem sigilo de informações.

Ademais, realizou-se a análise dos dados repassados pela FEAM, que são informados semestralmente pela Copasa, por meio do Sistema MTR, nas Declarações de Movimentação de Resíduos (DMR's) semestrais, do gerador, tanto da ETE arrudas, como da ETA Rio Manso, visando a contraposição dos dados autodeclarados na pesquisa pelo prestador, com as informações comunicadas ao órgão ambiental.

4.3 Caracterização e Classificação dos Resíduos

Em posse do conjunto de dados, foi realizado o levantamento de todos os subprodutos gerados nas referidas estações estudadas. Após, foi realizada a classificação dos mesmos, utilizando como base a NBR ABNT 10004:2004. O critério de classificação foi estabelecido por meio de uma análise detalhada da norma em questão, levando em consideração as características específicas dos resíduos que estavam associadas a cada classe apresentada. Esse processo buscou alcançar o enquadramento mais preciso dos resíduos estudados, baseando-se em suas características fundamentais.

4.4 Avaliação do Cumprimento das Legislações Aplicáveis

Em posse do conjunto de dados repassados, bem como do estudo realizado para verificar como são geridos os resíduos nas Estações de tratamento, foi apurado o cumprimento das legislações aplicáveis e os avanços recentes conquistados em projetos de pesquisa.

Nas Tabelas 4.2 e 4.3, elencou-se o conjunto de leis, deliberações normativas e resoluções tanto federais, quanto estaduais que foram analisadas nesta pesquisa.

Tabela 4.2 – Leis, deliberações normativas e resoluções federais no âmbito de abastecimento de água, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos.

Leis, deliberações e resoluções normativas federais	
Norma	Breve descrição
Lei Federal nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
Lei Federal nº 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecendo o conceito de responsabilidade compartilhada, hierarquização do manejo de resíduos e estabelece metas.
Decreto Federal nº 10.936/2022	Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
Marcos Legais do Saneamento Básico (Leis Federais nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020)	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e aborda o conjunto de serviços pertinentes, incluindo a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos.
Resolução CONAMA nº 316/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
Resolução CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 375/2006	Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.
Resolução CONAMA nº 430/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005.
Resolução CNRH nº 140/2012	Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais.
Resolução CONAMA nº 498/2020	Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos.

Fonte: O autor

Tabela 4.3 – Leis, deliberações normativas e resoluções estaduais no âmbito de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos.

Leis, deliberações e resoluções normativas estaduais	
Norma	Breve descrição
Lei Estadual nº 18.031/2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.
Deliberação Normativa COPAM nº 245/2022	Estabelece prazos para a Regularização Ambiental de Sistemas de Tratamento de Água.
Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017	Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais.
Deliberação Normativa COPAM nº 232/2019	Institui o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos e estabelece procedimentos para o controle de movimentação e destinação de resíduos sólidos e rejeitos no Estado.

Fonte: O autor

4.5 Soluções para reaproveitamento dos resíduos

Segundo Fernandes Martins *et al.* (2021), o processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE. Geralmente, para a destinação final do lodo, são utilizados os aterros sanitários, no entanto, alguns estudos vislumbram sua aplicação como insumo agrícola, fertilizante ou mesmo na construção civil.

Ademais, a Resolução nº 498/2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) autoriza a comercialização de biossólidos derivados do lodo de esgoto para aplicação no solo para cultivo agrícola, desde que atendam as disposições quanto aos organismos com potencial patogênico como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias, além da observação quanto a concentração de metais pesados (BRASIL, 2020).

Por sua vez, a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos

sólidos, cujo um dos seus objetivos é promover o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Nesse sentido, foi realizada uma revisão de literatura, em bases nacionais e internacionais, para apontar as principais soluções existentes para reaproveitamento dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água e esgoto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Banco de Dados

Conforme citado anteriormente, os dados analisados foram disponibilizados pela Feam e pela Copasa.

5.1.1 Estação de Tratamento de Água do Sistema Rio Manso

O prestador disponibilizou, além do quantitativo do volume de água produzido pelo Sistema Rio Manso (Tabela 5.1), os valores médios de lodo produzido (Tabela 5.2), durante a série histórica de 2020 a 2022.

Tabela 5.1 – Volume de água produzido do Sistema Rio Manso, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.

Volume de água produzido do Sistema Rio Manso (m³)			
Ano	2020	2021	2022
Janeiro	11798,806	13645,424	13940,023
Fevereiro	14560,296	13123,925	14763,329
Março	14204,175	12026,477	14134,786
Abril	15500,685	13682,74	15385,537
Mai	13957,4	13451,926	14189,009
Junho	14301,103	13997,904	14521,336
Julho	14055,597	13494,923	13996,22
Agosto	13990,334	13947,588	15214,558
Setembro	14353,981	14136,896	15182,693
Outubro	13794,806	13825,822	14282,758
Novembro	11703,91	14578,643	14129,643
Dezembro	13156,186	13953,502	13933,582
Total Anual	165377,279	163865,77	173673,474

Fonte: O Autor

Tabela 5.2 – Volume de lodo produzido do Sistema Rio Manso, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.

Volume de Lodo Produzido do Sistema Rio Manso (m³)			
Ano	2020	2021	2022
Janeiro	6329,00	7582,00	6775,00
Fevereiro	11436,00	8244,00	17051,00

Volume de Lodo Produzido do Sistema Rio Manso (m³)			
Ano	2020	2021	2022
Março	14504,00	6591,00	14319,00
Abril	20072,00	5733,00	12150,00
Mai	2227,00	5324,00	8037,00
Junho	4690,00	3418,00	5792,00
Julho	3464,00	2583,00	5370,00
Agosto	3130,00	3044,00	5960,00
Setembro	3077,00	3121,00	3752,00
Outubro	4136,00	3706,00	3799,00
Novembro	3954,00	5606,00	4193,00
Dezembro	4989,00	4926,00	5485,00
Total Anual	82008,00	59878,00	92683,00
Total Anual (Em toneladas) considerando a densidade do lodo (1000kg/m³)	82008,00	59878,00	92683,00

Fonte: O Autor

Já a FEAM, disponibilizou as DRM's nº 83296/2021 (Tabela 5.3), 91256/2022 (Tabela 5.4), 114718/2022 (Tabela 5.5) e 138137/2023 (Tabela 5.6). Segundo o órgão ambiental não houve declaração de geração de resíduos pelo prestador, nos semestres de 2020/1, 2020/2 e 2021/1.

Tabela 5.3 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 83296, no período de 01/07/2021 até 31/12/2021.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 83296				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Companhia de Saneamento de Minas Gerais. CNPJ: 17.281.106/0177-74	191902 - Lodos de Clarificação de Água	4624,00	4624,00	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.4 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 91256, no período de 01/01/2022 até 30/06/2022.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 91256				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Companhia de Saneamento de Minas Gerais. CNPJ: 17.281.106/0177-74	191902 - Lodos de Clarificação de Água	6265,00	6265,00	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.5 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados ETA Rio Manso – DMR nº 114718, no período de 01/07/2022 até 31/12/2022.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 114718				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Companhia de Saneamento de Minas Gerais. CNPJ: 17.281.106/0177-74	191902 - Lodos de Clarificação de Água	3597,88	3597,88	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.6 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso – DMR nº 138137, no período de 01/01/2023 até 30/06/2023.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 138137				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Companhia de Saneamento de Minas Gerais. CNPJ: 17.281.106/0177-74	191902 - Lodos de Clarificação de Água	2662,98	2662,98	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

A partir dos dados repassados, fez-se o cálculo da média de resíduos gerados na ETA Rio Manso, no período de 2021/2 a 2023/1, conforme disponibilizado na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Valores Médios dos Resíduos Gerados na ETA Rio Manso, no período de 01/07/2021 a 30/06/2023

Valores Médios de Geração dos Resíduos Declarados no Sistema MTR				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Média Destinada (t)	Quantidade Média Gerada (t)	Destinação Final
Companhia de Saneamento de Minas Gerais. CNPJ: 17.281.106/0177-74	191902 - Lodos de Clarificação de Água	4287,47	4287,47	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

De forma comparativa, foi elaborada a Tabela 5.8, que destaca a quantidade de resíduos autodeclarados gerados na ETA Rio Manso, em relação ao total declarado nas DMR's da Feam. Para esse propósito, assumiu-se que a densidade do lodo gerado era de 1000 kg/m³, conforme sugerido por Von Sperling (2005), com o intuito de realizar a conversão da volumetria do lodo fornecida pela companhia para toneladas, a fim de possibilitar uma comparação eficaz. Os resultados da tabela evidenciaram uma diferença de 840% entre os valores autodeclarados na pesquisa e os declarados junto ao órgão ambiental. Dessa forma, infere-se que a volumetria de lodo repassado pelo prestador por meio da comunicação externa é a volumetria total de lodo gerada na unidade (lodo bruto), sem considerar sua desidratação no leito de secagem da UTR, produzindo ao final o lodo seco que é o resíduo efetivamente destinado ao aterro sanitário.

Tabela 5.8 – Comparativo Geral do Quantitativo de Resíduos Gerados na ETA Rio Manso, Em relação ao total declarado nas DMR's da Feam, no período de 01/01/2022 até 31/12/2022.

Quantidade auto declarada pelo prestador x QTDE declarada nos DMR's da FEAM
Período 01/01/2022 até 31/12/2022
Identificação dos Resíduos

Tipo de Resíduo	Quantidade Gerada - Conforme Declarado nas DMR's Semestrais do ano de 2022 (em toneladas)	Geração estimada na ETA Rio Manso - Valor informado por meio da CE nº 048/2023 (em toneladas)	Diferença % da estimativa do valor gerado pelo valor declarado à FEAM
191902 - Lodos de Clarificação de Água	9862,88	92683,00	840%

Fonte: O Autor

5.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto Arrudas

Para a ETE Arrudas, a FEAM disponibilizou as DRM's nº 23776/2020 (Tabela 5.9), 33353/2020 (Tabela 5.10), 49656/2021 (Tabela 5.11), 68600/2021 (Tabela 5.12), 89772/2022 (Tabela 5.13), 111748/2022 (Tabela 5.14), 136372/2023 (Tabela 5.15), referente aos resíduos gerados no período de 2020/1 a 2023/1.

Tabela 5.9 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 23776, no período de 01/01/2020 até 30/06/2020.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 23776				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Tratamento/ Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	11827,27	11827,27	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1945,01	1945,01	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	45,49	45,49	Aterro Classe IIA e IIB

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 23776				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Tratamento/ Destinação Final
Laboratório	Grupo E - Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	0,05	0,05	Autoclave

Fonte: O Autor

Tabela 5.10 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 33353, no Período de 01/07/2020 até 31/12/2020.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 33353				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Tratamento/ Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	15220,23	15220,23	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1530,91	1530,91	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	195,78	195,78	Aterro Classe IIA e IIB
Laboratório	Grupo E - Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	0,08620	0,08620	Autoclave

Fonte: O Autor

Tabela 5.11 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 49656, no período de 01/01/2021 até 30/06/2021.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 49656				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	13276,67	13276,67	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1425,28	1425,28	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	139,21	139,21	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.12 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 68600, no período de 01/07/2021 até 31/12/2021.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 68600				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	11640,34	11640,34	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1217,33	1217,33	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	142,73	142,73	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.13 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 89772, no período de 01/01/2022 até 30/06/2022.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 89772				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	9550,06	9550,06	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1497,01	1497,01	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	68,91	68,91	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.14 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 111748, no período de 01/07/2022 até 31/12/2022.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 111748				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	11643,35	11643,35	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1261,73	1261,73	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	94,86	94,86	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Tabela 5.15 – Declaração de Movimentação de Resíduos Gerados na ETE Arrudas – DMR nº 136372, no período de 01/01/2023 até 30/06/2023.

Declaração de Movimentação de Resíduos - DMR nº 136372				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	13759,37	13759,37	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1689,19	1689,19	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	110,39	110,39	Aterro Classe IIA e IIB

Fonte: O Autor

Após a consolidação do quantitativo de resíduos gerados na série histórica de 2020/1 a 2023/1, elaborou-se a tabela 5.16, com os valores médios de geração dos resíduos declarados pelo prestador no sistema MTR da FEAM.

Tabela 5.16 – Valores Médios de Geração dos Resíduos na ETE Arrudas, Declarados no Sistema MTR, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.

Valores Médios de Geração dos Resíduos Declarados no Sistema MTR				
Identificação dos Resíduos				
Destinador	Resíduo	Quantidade Destinada (t)	Quantidade Gerada (t)	Tratamento/ Destinação Final
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	12192,99	12192,99	Aterro Classe IIA e IIB
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190802 - Resíduos de Desarenamento	1479,55	1479,55	Aterro Classe IIA e IIB

Valores Médios de Geração dos Resíduos Declarados no Sistema MTR				
Identificação dos Resíduos				
Vital Engenharia Ambiental S/A - CNPJ: 02.536.066/0008-00	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	114,50	114,50	Aterro Classe IIA e IIB
Laboratório	Grupo E - Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	0,068	0,068	Autoclave

Fonte: O Autor

A Copasa informou por meio da CE nº 048/2023, os valores médios dos resíduos gerados na ETE Arrudas. (Tabela 5.17)

De maneira comparativa, elaborou-se a tabela 5.18, com o comparativo do quantitativo autodeclarado de resíduos gerados na ETE Arrudas, em relação ao total declarado nas DMR's da FEAM. A tabela apresentou diferença entre os valores autodeclarados na pesquisa e declarados ao órgão ambiental.

Tabela 5.17 – Valores médios informados pelo prestador, da geração dos Resíduos na ETE Arrudas, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.

Valores Médios de Resíduos Gerados – Copasa				
Identificação dos Resíduos				
Unidade de geração	Resíduo	Quantidade Destinada (t/mês)	Quantidade Gerada (t/mês)	Quantidade Gerada (t/semestre)
Processo/Centrífugas	190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	2536,70	2536,70	15220,2

Valores Médios de Resíduos Gerados – Copasa				
Identificação dos Resíduos				
Unidade de geração	Resíduo	Quantidade Destinada (t/mês)	Quantidade Gerada (t/mês)	Quantidade Gerada (t/semestre)
Desarenadores	190802 - Resíduos de Desarenamento	144,90	144,90	869,4
Grades/Preliminar	190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	13,30	13,30	79,8
Laboratório	GRUPO E - Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	-	-	0,0862

Fonte: O Autor

Tabela 5.18 – Comparativo Geral do Quantitativo médio informado de Resíduos gerados na ETE Arrudas em relação à média declarada nas DMR's da Feam, no período de 01/01/2020 até 31/12/2022.

Comparativo Geral do Quantitativo médio informado de Resíduos gerados na ETE Arrudas em relação à média declarada nas DMR's da Feam.			
Identificação dos Resíduos			
Tipo de Resíduo	Quantidade média Gerada - Conforme Declarado nas DMR's Semestrais de 2020 a 2022 (em toneladas)	Geração estimada na ETE Arrudas - Valor médio informado por meio da CE nº 048/2023 (em toneladas)	Diferença % da estimativa do valor gerado pelo valor declarado à FEAM
190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	12192,987	15220,200	25%
190802 - Resíduos de Desarenamento	1479,545	869,400	-41%
190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	114,497	79,800	-30%
GRUPO E - Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	0,068	0,086	27%

Fonte: O Autor

É crucial destacar que, durante o processo de licenciamento ambiental conduzido em 2022 (Parecer único nº 167/2022), no qual a Copasa submeteu a documentação para a expansão da ETE Arrudas, observou-se a declaração da geração de resíduos classe I, tais como óleo mineral utilizado e resíduos contaminados com óleo e graxa, provenientes da manutenção de equipamentos, conforme delineado no subcapítulo 4.1.2 desta monografia. Surpreendentemente, contudo, esses resíduos não foram devidamente informados nem na CE nº 048/2023, fornecida pelo prestador, nem nas DMR's encaminhadas à Feam. Além disso, observa-se uma diferença significativa nos quantitativos analisados, possivelmente atribuível à transmissão de informações provenientes de bases de dados distintas dentro da empresa. Outra possibilidade é o envio ao órgão ambiental de valores aproximados de geração, que são consolidados posteriormente na companhia.

No entanto, essa discrepância entre as documentações apresentadas aos órgãos de controle e as informações subsequentemente repassadas para esta pesquisa acadêmica, levanta preocupações significativas em relação à conformidade ambiental e à transparência no gerenciamento de resíduos. Portanto, é imprescindível a adoção imediata de medidas corretivas pelo gestor da unidade. Essas ações visam não apenas analisar as causas dessa inconsistência, mas também considerar a viabilidade de centralizar o gerenciamento das informações relativas ao manejo de resíduos gerados nas unidades sob uma única gestão dedicada ao tema. Essa abordagem objetiva assegurar a conformidade integral com as normativas ambientais em vigor, ao mesmo tempo em que abre possibilidades para a concepção de novos projetos voltados para o reaproveitamento de resíduos.

5.2 Classificação dos resíduos gerados

Conforme a NBR-10004 (ABNT, 2004), os lodos de Estações de Tratamento de Água (ETA) recebem a classificação de resíduos sólidos pertencentes à Classe II - Não Perigosos.

Segundo ANVISA (2018) e BRASIL (2005), os RSS são classificados em cinco grupos: o Grupo A contém os resíduos biológicos, o Grupo B os resíduos com características químicas perigosas, o Grupo C os resíduos com risco radiológico, o Grupo D aqueles que não apresentam riscos adicionais se comparados aos resíduos gerados em ambiente doméstico e, por fim, o Grupo E onde estão contidos os resíduos perfurocortantes (Gerados na ETE Arrudas), que não foram contemplados durante a revisão bibliográfica emergiram, exigindo uma complementação por meio das resoluções citadas. Essa abordagem se mostrou essencial para alcançar a classificação precisa dos RSS.

Figura 5.1- Quadro dos grupos dos RSS, segundo RDC ANVISA n° 222/2018 e Resolução CONAMA n° 358/2005

Grupo	Definição
A	Materiais que apresentem possível presença de agentes biológicos e que, portanto, oferecem risco de infecção.
B	Resíduos que contenham substâncias que possuam características perigosas, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade (ANVISA, 2018; BRASIL, 2005) carcinogenicidade, teratogenicidade, mutagenicidade e quantidade (ANVISA, 2018), à saúde pública e ambiental.
C	Materiais que apresentem radionuclídeos com níveis acima do descrito em normas do CDTN CNEN para os quais não haja previsão de reutilização ou que essa seja imprópria.
D	Resíduos que não apresentem nenhum dos outros riscos abrangidos pelos outros grupos.
E	Os materiais escarificantes ou perfurocortantes.

Fonte: ANVISA (2018) e Brasil (2005)

Ainda conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004), a qual dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente, agrupa-os em perigosos (Classe I) e não perigosos (Classe II), sendo ainda Classe II A - não inertes ou Classe II B – inertes. Esta norma estabelece de forma inequívoca que os resíduos resultantes de estações de tratamento de esgotos domésticos não são categorizados com base em critérios de patogenicidade, e, conseqüentemente, não entram na categoria de resíduos perigosos.

5.2.1 Resíduos Classe II A - Não Inertes

Nos termos da NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), recebem essa classificação os resíduos sólidos ou misturas de resíduos sólidos que não se enquadram na classe I (perigosos) ou na classe II B (inertes), podendo ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

5.2.2 Resíduos Classe II B – Inertes

Recebem essa classificação os resíduos sólidos ou as misturas de resíduos sólidos que, quando amostrados segundo a NBR 10.007:2004 (ABNT, 2004) e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada à temperatura ambiente, conforme a NBR 10.006:2004 (ABNT, 2004), não apresentem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

Portanto, a partir da análise da referida norma, elaborou-se a tabela 5.19 com a classificação dos resíduos gerados nas estações estudadas.

Tabela 5.19- Classificação dos resíduos Gerados

Classificação dos Resíduos Gerados	
Período 01/01/2022 até 31/12/2022	
Identificação do gerador	ETE Arrudas / ETA Rio Manso
Identificação dos Resíduos	
Tipo de Resíduo	Classificação
190805 - Lodos de Tratamento de Efluentes Urbanos	Classe IIA (Não perigoso-não inerte)
190802 - Resíduos de Desarenamento	Classe IIA (Não perigoso-não inerte)
190801 - Resíduos Retirados na Fase de Gradeamento	Classe IIA (Não perigoso-não inerte)
191902 - Lodos de Clarificação de Água	Classe IIA (Não perigoso-não inerte)
Materiais Perfurocortantes ou Estratificantes	Grupo E - Resíduo Perfurocortante

Fonte: O Autor

5.3 Avaliação do cumprimento das legislações aplicáveis

A partir do levantamento das legislações federais e estaduais aplicáveis ao tratamento de água e ao tratamento de esgoto, verificou-se o cumprimento dos requisitos legais das referidas legislações presentes nas tabelas 4.1 e 4.2, analisando se foi feito correto manejo, transporte e disposição final dos resíduos sólidos gerados nas unidades analisadas.

Nesse sentido, a partir da documentação analisada nesta pesquisa, constatou-se uma não conformidade em razão da não declaração de geração de resíduos pelo prestador, na ETA Rio Manso, nos semestres de 2020/1, 2020/2 e 2021/1, em descumprimento direto ao disposto no capítulo VI da Deliberação Normativa COPAM nº 232/2019:

Art. 16 – Ressalvado o previsto no art. 2º desta deliberação normativa, os geradores e os destinadores instalados em Minas Gerais cujas atividades ou empreendimentos sejam enquadrados nas classes 1 a 6, conforme Anexo Único da Deliberação Normativa Copam nº 217, de 6 de dezembro de 2017, deverão elaborar e enviar semestralmente, por meio do Sistema MTR-MG, a Declaração de Movimentação de Resíduos – DMR, informando as operações realizadas no período com os resíduos sólidos e com os rejeitos gerados ou recebidos, observados os seguintes prazos:

I – Até o dia 28 de fevereiro de cada ano deverá ser enviada, via Sistema MTR-MG, a DMR abrangendo o período de 1º de julho a 31 de dezembro do ano anterior;

II – Até o dia 31 de agosto de cada ano deverá ser enviada, via Sistema MTR-MG, a DMR abrangendo o período de 1º de janeiro a 30 de junho do ano em curso.

§1º – Mesmo quando não houver a geração ou a destinação de resíduos sólidos ou de rejeitos no período, os usuários a que se refere o caput deverão elaborar a DMR, que possuirá campo apropriado para justificar a ausência de atividade no período.

§2º – As informações referentes aos programas de monitoramento de resíduos sólidos e rejeitos vinculados às licenças ambientais emitidas com base na Deliberação Normativa Copam nº 217/2017, e na Deliberação Normativa Copam nº 74/2004 serão prestadas por meio da DMR, via Sistema MTR-MG, na forma e prazos estabelecidos neste artigo, a partir de janeiro de 2020.

Nesse sentido, passado o prazo regular para envio da DMR, recomenda-se que o prestador realize o preenchimento da declaração, mesmo em atraso, acessando a opção “Cadastrar DMRs Pendentes” do menu “Declaração”, conforme procedimento exemplificado no site do SISEMA: <http://trilhasdosaber.meioambiente.mg.gov.br/mod/page/view.php?id=7045>

5.4 Apresentação das soluções para reaproveitamento dos resíduos gerados.

A partir de diferentes tratamentos como secagem, biodigestão, solidificação, compostagem, entre outros, Kim, You e Park (2017) elencam diversos usos possíveis para o lodo das estações

de tratamento de esgoto, tais como matéria prima para a produção de cimento, condicionante de solo, combustível para usinas térmicas e fertilizante agrícola.

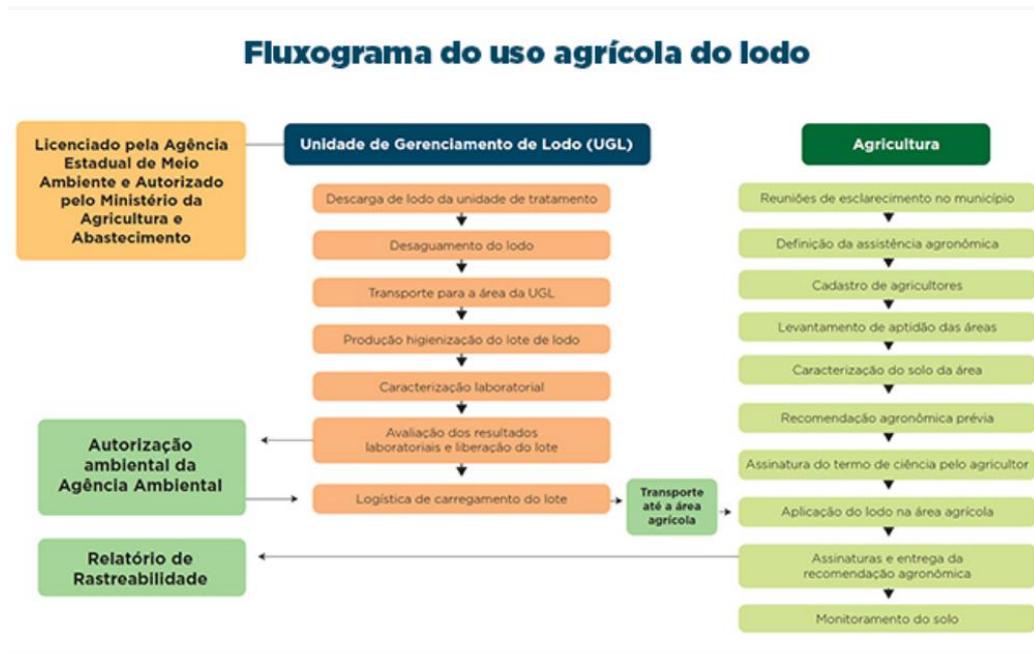
Além disso, Zancan, Toniollo e Miotto (2015) apresentaram algumas alternativas sustentáveis que vem sendo desenvolvidas em diversas regiões do Brasil. Os autores apontaram que, após o processo de desidratação do lodo, podem ser aplicadas alternativas adequadas para a destinação final destes resíduos, sendo destacadas três opções de reaproveitamento do lodo: coprocessamento em fornos de cimento, aplicações na indústria da construção civil e disposição controlada em solo.

Nesse contexto, diversas concessionárias responsáveis pelos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário lançaram programas com o objetivo de promover o reaproveitamento agrícola do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

Um exemplo notável é o programa desenvolvido pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). A empresa disponibiliza lodo de esgoto devidamente tratado para ser utilizado na agricultura, com o intuito de promover a reciclagem de nutrientes, melhorar as propriedades do solo, reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade das culturas agrícolas.

De acordo com informações divulgadas no site da Sanepar, em 2022, o programa beneficiou 157 agricultores, distribuindo aproximadamente 23 mil toneladas de lodo. No entanto, é fundamental destacar que a disponibilidade desse recurso e a elegibilidade dos agricultores para participar do programa dependem de fatores como a região em que estão localizados, a existência de agricultores pré-cadastrados, a adequação das culturas aos critérios e diretrizes do Programa de Reciclagem Agrícola do Lodo da Sanepar. Além disso, todo o processo está sujeito à fiscalização rigorosa por parte do Instituto Água e Terra e do Ministério da Agricultura.

Figura 5.2- Fluxograma do uso agrícola do lodo produzido pela Sanepar.



Fonte: SANEPAR

Por fim, de acordo com informações disponibilizadas no site da Copasa, foi publicado os resultados iniciais do projeto intitulado "Compost Tree - Produção de Fertilizante Orgânico Classe B a partir de Biossólido de ETEs". Este projeto tem como meta a produção em grande escala de fertilizantes utilizando o lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto da Copasa, juntamente com resíduos gerados a partir da poda de árvores urbanas.

Os objetivos centrais desta iniciativa incluem a criação de oportunidades de emprego e renda em Minas Gerais, a extensão da vida útil dos aterros sanitários, a redução dos custos associados ao transporte do lodo das ETEs até esses aterros e a neutralização do carbono contido no lodo dos esgotos. Esse último ponto contribui de maneira significativa para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa.

O processo de transformação do lodo em fertilizante se baseia na técnica de compostagem, na qual o lodo é combinado com material orgânico, incluindo os resíduos da poda de árvores. Os ensaios laboratoriais ratificaram a conformidade com os padrões estipulados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), tanto em relação aos aspectos microbiológicos quanto aos metais pesados. O próximo passo envolverá a aplicação do fertilizante em diversas culturas, visando avaliar seu desempenho no crescimento das plantas e no solo.

Esse projeto-piloto, inspirado pela experiência bem-sucedida de Saga, no Japão, representa um avanço notável no uso de lodo desidratado proveniente das ETEs para a produção de fertilizantes. Sua concepção foi impulsionada pela participação da Copasa em uma missão promovida pela Agência de Cooperação Internacional do Japão (Jica).

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se, portanto, que a presente pesquisa efetivamente alcançou os objetivos propostos, proporcionando uma visão abrangente do cenário atual do manejo, reaproveitamento e destinação final dos subprodutos gerados na ETA Rio Manso e ETE Arrudas. A revisão bibliográfica e a análise do estado da arte permitiram uma contextualização ampla, identificando oportunidades de melhoria nos processos e evidenciando inconsistências, além de refletir sobre as tendências emergentes no contexto do novo marco legal do saneamento básico.

O embasamento obtido, aliado à discussão sobre diretrizes e soluções para o manejo, reaproveitamento e destinação final dos subprodutos, impulsionou o avanço do conhecimento e a proposição de estratégias concretas, destacando o caráter não punitivo ou sancionatório para correção das inconformidades encontradas junto ao órgão ambiental.

A caracterização e classificação dos subprodutos se revelaram elementos inovadores, proporcionando uma compreensão aprofundada do cenário estudado.

A análise minuciosa da legislação vigente e a verificação do seu cumprimento, através da análise documental, identificaram lacunas e demandas de avanços no cenário regulatório atual. Essa avaliação crítica proporcionou *insights* valiosos para aprimorar as práticas regulatórias e promover um manejo mais eficaz dos subprodutos.

Além de atingir os objetivos estabelecidos, esta pesquisa oferece contribuições significativas para a tomada de decisões informadas no âmbito do tratamento de água e efluentes em Minas Gerais. As recomendações resultantes possuem o potencial de orientar políticas públicas, práticas empresariais e futuras pesquisas, visando aprimorar a sustentabilidade e eficiência nas operações das ETA's e ETE's no estado.

Adiante, sugere-se a continuidade da pesquisa com as seguintes recomendações:

Avaliação dos Impactos Ambientais: Utilizar a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV), para avaliar, em pesquisas futuras, os impactos ambientais associados aos subprodutos gerados nas estações, contribuindo para uma gestão mais sustentável.

Análise de Cenários com e sem Reaproveitamento: Avaliar os impactos em cenários com e sem o reaproveitamento dos subprodutos, fornecendo subsídios para a implementação de práticas mais eficientes e ecológicas.

Regulação Específica para Gestão de Resíduos: Discutir e avançar na necessidade de regulação específica para a gestão dos resíduos gerados nas ETAs e ETEs, visando preencher lacunas e estabelecer diretrizes mais claras.

Panorama Regional da Gestão de Resíduos: Avaliar o panorama regional da gestão de resíduos, não apenas nas estações operadas pela Copasa e Copanor, mas também nas unidades operadas pelos SAAEs e outras companhias no estado de Minas Gerais, promovendo uma visão abrangente do cenário estadual.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V. *et al.* **Resíduos sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Curitiba/PR: Abes, 2001. 257 p.

ANDREOLI, C.V. *et al.* **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Curitiba/PR: Abes, 2006. 398 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - NORMA BRASILEIRA 10004: Resíduos Sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro. 2004

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as boas práticas de gerenciamento dos Resíduos de Serviço de Saúde e dá outras providências. Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf. Acesso em 18 out. 2023

ARSAE-MG - AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS.

Resolução ARSAE-MG nº 129, de 11 de novembro de 2019. Estabelece condições a serem observadas na prestação dos serviços públicos de abastecimento de água pelos prestadores de serviços regulados pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG). Belo Horizonte: 2019^a, 30 p. Disponível em

<http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resoluo%20ARSAE_MG%20n129.2019_gua.pdf>. Acesso 02 abr. 23.

ARSAE-MG - AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE

MINAS GERAIS. **Resolução ARSAE-MG nº 130, de 11 de novembro de 2019.**

Estabelece condições específicas a serem observadas na prestação dos serviços públicos de esgotamento sanitário dinâmico pelos prestadores de serviços regulados pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG). Belo Horizonte: 2019^b, 25 p. Disponível em

<http://www.arsae.mg.gov.br/images/documentos/legislacao/2019/Resoluo%20ARSAE_MG%20n130.2019_Esgoto.pdf>. Acesso 02 abr. 23.

AGENDA 21 GLOBAL. UNCED - **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), Agenda 21 (global).** Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21global> >. Acesso em: 01 jun. 2023.

BORGES, N. B.; CAMPOS, J. R.; FERREIRA, G. T. **Caracterização e Aproveitamento dos resíduos removidos nos gradeamentos e desarenadores de estações de tratamento de esgotos.** ANAIS Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABES. FENASAN. 2017. III-034. 11 p. Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/III-034.pdf>. Acesso 02 abr. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília, 29 de outubro de 2002. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Conama-316-02-Tratamento-T%C3%A9rmico-de-Res%C3%ADduos.pdf>. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 17 de março de 2005. Disponível: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília: 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prn.2019.11.004>. Acesso em: 18 out. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 29 de agosto de 2006. Disponível em: https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legislacao_biosolido/res_conama37506-1.pdf. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 13 de maio de 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Brasília, 19 de agosto de 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 12 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408 p. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf . Acesso em 07 abr. 2023.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981**. Lei da Política Nacional do Meio Ambiente de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 31 de agosto de 1981. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,aplica%C3%A7%C3%A3o%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias. Acesso em 22 set. 23.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Brasília: 2007, 28 p. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm>. Acesso em 01 abr. 23.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: 2010, 19 p. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 01 abr. 23.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF: Presidência da República, 2020a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm . Acesso em 02 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). **Resolução nº 140, de 21 de março de 2012**. Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais. Brasília, 21 de março de 2012. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA-1402012.pdf>. Acesso em 01 jun. 2023.

BRASIL. **Secretaria Nacional de Saúde**. Biblioteca Virtual em Saúde. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html . Acesso em 01 jun. 2023.

CONSAG ENGENHARIA LTDA. **Ampliação do Sistema de Produção de Água Tratada**. Relatório de controle ambiental (RCA) textos, anexos e desenhos – Volume único. Belo Horizonte: 2009. 159 p. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/siam/lc/2009/0003719880052009/3254702009.pdf>. Acesso em 10 set. 2023.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 128, de 27 de novembro de 2008**. Altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM 96/2006 que convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências. Belo Horizonte: Semad/Copam, 2008, 2 p. Disponível em

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8734>>. Acesso em 03 abr. 23.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 153, de 26 de julho de 2010**. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistemas de tratamento de água e dá outras providências. Belo Horizonte: Semad/Copam, 2010, 3 p. Disponível em

<<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/bWUmcTzmUEH3pcJNjpv1kdVYTSFgPNXN.pdf>>. Acesso em 05 abr. 23.

COPAM - CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. **Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Belo Horizonte: Semad/Copam, 2017, 65 p. Disponível em

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>>. Acesso em 07 abr. 23.

COPASA. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. **Compost Tree - Produção de Fertilizante Orgânico Classe B a partir de Biossólido de ETEs**. Disponível em: <https://news.copasa.com.br/copasa-apresenta-resultados-de-projeto-que-transforma-lodo-das-etes-em-fertilizante-organico/>. Acesso em 01 nov. 23.

FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Minas trata esgoto: plano de ações estratégicas para redução do lançamento de carga poluidora nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais / Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Belo Horizonte: FEAM, 2016. 245 p.; il. Disponível em:

http://www.feam.br/images/stories/2017/Minas_trata_esgoto/Minas_trata_Esgoto_rel%C3%B3rio_2016_-_link.pdf. Acesso em 07 abr. 23.

FERNANDES MARTINS, S.; TSUTSUI ESPERANCINI, M. S.; GAGLIARDI QUINTANA, N. R.; DE SOUZA BARBOSA, F. **ANÁLISE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO PARA FINS AGRÍCOLAS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE BOTUCATU-SP. ENERGIA NA AGRICULTURA**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 218–229, 2021. DOI:

10.17224/EnergAgric.2021v36n2p218-229. Disponível em:

<https://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/4214>. Acesso em: 2 nov. 2023.

KIM, H. J.; YOU, J. E.; PARK, C. J. Review of sewage and sewage sludge treatment in Korea. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, Singapore, v. 101, n. 10, p. 68-74, 2017. Disponível em:

<https://www.scimagojr.com/journalrank.php?year=2021>. Acesso em 30 out. 2023.

LOPES, Thaís Andrade de Sampaio *et al.* **Revisão crítica da literatura sobre aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida ao tratamento de esgotos.** *Revista DAE*, v. 65, n. 208, p. 47-55, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2017.005>. Acesso em 20 set. 2023.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). **Deliberação Normativa Copam nº 232, de 27 de fevereiro de 2019.** Institui o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos e estabelece procedimentos para o controle de movimentação e destinação de resíduos sólidos e rejeitos no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=47998>. Acesso em 22 set. 2023

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). **Deliberação Normativa COPAM nº 245, de 24 de março de 2022.** Estabelece prazos para a Regularização Ambiental de Sistemas de Tratamento de Água e dá outras providências. Belo Horizonte, 24 de março de 2022. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55742>. Acesso em 20 set. 2023.

MINAS GERAIS. **Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009.** Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: 2009^a, 23 p. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>>. Acesso em 02 abr. 23.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual nº 18.309, de 03 de agosto de 2009.** Estabelece normas relativas aos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, cria a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG - e dá outras providências. Belo Horizonte, 3 de agosto de 2009. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/18309/2009/?cons=1>. Acesso em 22 set. 2023.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO DE BELO HORIZONTE. **ATUALIZAÇÃO DO PMS 2020/2023.** Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2020. 321 p. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/2021/_pms2020-2023_texto_completo.pdf. Acesso em 10 set. 2023.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Programa de destinação agrícola do lodo.** Disponível em: <https://site.sanepar.com.br/sustentabilidade/destinacao-agricola-lodo-esgoto>. Acesso em 01 nov. 23.

SEMAD. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Panorama de abastecimento de água e esgotamento sanitário,** Belo Horizonte: SEMAD, 2021. 106 p.: il. Disponível em: https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/12543/panorama_abastecimento_de_agua_e_esgotamento.pdf. Acesso em 01 jun. 23.

SILVA, Alessandra Valadares Álvares da; VON SPERLING, Marcos; OLIVEIRA FILHO, José Maria de. **Avaliação das unidades de tratamento do lodo em uma ete de lodos ativados convencional submetida a distintas estratégias operacionais.** Engenharia

Sanitaria e Ambiental, v. 12, n. 2, p. 127-133, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522007000200003>. Acesso em: 16 dez. 2023.

SISEMA. Cadastrado uma DMR pendente no Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos – MTR. Belo Horizonte. 2020. Disponível em: <http://trilhasdosaber.meioambiente.mg.gov.br/mod/page/view.php?id=7045>. Acesso em 01 nov. 23.

SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 243p.

SURAM. SUBSECRETARIA DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DA SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Parecer técnico único nº 167/2022, indexado ao processo de licenciamento ambiental para ampliação da ETE Arrudas.** SURAM, 2022. 28 p. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/site/view-externo?id=34152>. Acesso em 20 set. 2023.

ZANCAN, NATÁLIA PAIVA.; TONIOLLO, MICHELE.; MIOTTO, NAIARA. **Reaproveitamento de resíduos de Etas, uma alternativa para o desenvolvimento sustentável.** VI Congresso Brasileiro de Gestão ambiental, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/IX-017.pdf>. Acesso em 30 set. 2023.