



Ralen Franco Azevedo

**A Geração de Energia a partir de Estação de
Tratamento de Esgoto como Prática de
Desenvolvimento Sustentável**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, do Departamento de Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Antonio Krishnamurti Beleno de Oliveira
Co-orientador: Prof. Ernani Costa

Rio de Janeiro
Abril de 2024



Ralen Franco Azevedo

**A Geração de Energia a partir de Estação de
Tratamento de Esgoto como Prática de
Desenvolvimento Sustentável**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Antonio Krishnamurti Beleno de Oliveira
Orientador
Departamento de Engenharia Civil– PUC-Rio

Prof. Ernani Costa
Co-Orientador
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Prof. Matheus Martins de Souza
UFRJ

Profa. Monique de Faria Marins
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de abril de 2024.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Ralen Franco Azevedo

Graduou-se em Engenharia Civil pela Unitri-MG (Centro Universitário do Triângulo) em 2016. Especializou-se em Gerenciamento de Obras pelo IPOG (Instituto de Pós-Graduação) em 2018. Desde então, atua na função de Engenheiro Civil pela empresa Lytorânea Infraestruturas.

Ficha Catalográfica

Azevedo, Ralen Franco

A Geração de Energia a partir de Estação de Tratamento de Esgoto como Prática de Desenvolvimento Sustentável / Ralen Franco Azevedo; orientador: Antonio Krishnamurti Beleno de Oliveira; co-orientador: Ernani Costa. – 2024.

70 f.: il. color.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2024.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Tarifa social. 4. Tratamento de esgoto. 5. Preservação ambiental. 6. Saúde. I. Oliveira, Antonio Krishnamurti Beleno de Oliveira. II. Costa, Ernani. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Dedico este trabalho ao meu pai Luiz Antonio de Azevedo e a minha mãe Roseli Franco Azevedo por me ensinarem desde cedo o verdadeiro valor da frase 'força de vontade' e que sempre me apoiou nos momentos, mas difíceis da minha vida.

Dedico a minha irmã que é uma pessoa que me dá forças para que juntos continuamos na batalha para proporcionar uma vida melhor aos nossos pais.

Dedico aos meus amigos que mesmo de longe sempre estão comigo me apoiando e não me deixando desistir de meus objetivos, e de grande valia para o meu crescimento profissional e pessoal.

Dedico ao meu querido irmão Ricardo pelo grande incentivo e calma transmitida.

Dedico aos meus amigos de empresa que sempre de alguma forma em viagens de trabalho me ajudava para que eu pudesse assistir às aulas, seja de forma presencial ou remotamente. E em especial meu Mst. Eng. Sandro que sempre acreditou em meu potencial.

Dedico aos meus novos amigos do Rio de Janeiro que compreenderam o meu afastamento social para tornar possível mais essa conquista.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que tornaram possível a realização desta revisão bibliográfica e a conclusão deste mestrado. Este projeto não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de muitas pessoas e instituições. Assim, gostaria de estender meus agradecimentos a:

A todos os professores desta Instituição, especialmente ao meu orientador, Prof. Antonio Krishnamurti Beleno de Oliveira, e coo-orientador Ernani Costa pela extrema paciência e comprometimento, dedicação, orientação e apoio incansáveis ao longo deste caminho e, também, pelas conversas sobre diversos outros assuntos. A orientação de vocês e o comprometimento com a excelência acadêmica foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço aos professores Matheus Martins de Souza e Monique de Faria Marins por terem aceitado fazer parte da banca.

Aos meus colegas da turma 2020.1, pelas noites que compartilhamos ideias, conhecimento e pelo incentivo acadêmico e pessoal, em plena pandemia, além da força dada um ao outro nos momentos difíceis que passamos, que irei levar uma grande amizade a todos.

Ao Eng. e Dr. Sandro por sua disponibilidade em auxiliar, em passar os contatos necessários, aos porteiros e funcionários de locais que visitei neste período de elaboração da dissertação, pelas histórias contadas, seja com alegria, tristeza ou certo saudosismo, que é perfeitamente compreensível.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, em nome da pessoa do Victor Di Vaio pelos constantes auxílios prestados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Azevedo, Ralen Franco; Oliveira, Antonio Krishnamurti Beleno (Orientador); Costa, Ernani (Co-orientador). **A Geração de Energia a partir de Estação de Tratamento de Esgoto como Prática de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, 2024. 70p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O tratamento adequado dos efluentes pode contribuir para o desenvolvimento sustentável. Sabe-se que estes são um problema quando seu descarte se dá sem qualquer cuidado. Assim, o objetivo desta pesquisa é o de se analisar as produções científicas dos últimos 10 anos no intuito de se compreender de que forma a geração de energia elétrica a partir das Estações de Tratamento de Esgoto se constitui em uma prática de desenvolvimento sustentável. Desta forma, pensa-se, pode-se contribuir para a produção de um grupo de dados que sirva para inspirar soluções para o problema do descarte dos efluentes, que passam pela ideia da geração de energia elétrica como contrapartida. Para tanto, esta pesquisa seguiu a metodologia de abordagem qualitativa. Além disso, do ponto de vista operacional, decidiu-se pela revisão bibliográfica, contemplando-se os estudos que versam acerca desta temática produzidos entre os anos de 2013 e 2023. Os resultados apontam para o fato de que a geração de energia a partir das Estações de Tratamento de Esgoto é viável em todos os estudos verificados e pode contribuir significativamente para o desenvolvimento econômico e social de regiões vulneráveis como os Complexos do Alemão e da Maré, além de ser uma alternativa de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave

Tarifa social; tratamento de esgoto; preservação ambiental; saúde.

Abstract

Azevedo, Ralen Franco; Oliveira, Antonio Krishnamurti Beleno, (Advisor); Costa, Ernani (Co-advisor). **Generating Energy from Wastewater Treatment Plants as a Sustainable Development Practice**. Rio de Janeiro, 2024. 70p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The proper treatment of effluents can contribute to sustainable development. It is known that they become a problem when they are discarded without any care. Thus, the objective of this research is to analyze the scientific productions of the last 10 years in order to understand how the generation of electricity from Sewage Treatment Plants constitutes a practice of sustainable development. In this way, it is believed that it can contribute to the production of a dataset that can inspire solutions to the problem of effluent disposal, which includes the idea of generating electricity as a counterpart. To achieve this, this research followed a qualitative approach methodology. Furthermore, from an operational point of view, it was decided to conduct a literature review, considering studies on this theme produced between the years 2013 and 2023. The results indicate that the generation of energy from Sewage Treatment Plants is viable in all the studies analyzed and can significantly contribute to the economic and social development of vulnerable regions such as the Complexes of Alemão and Maré, in addition to being an alternative for sustainable development.

Keywords

Social tariff; sewage treatment; environmental preservation; health.

Sumário

1. Introdução	11
1.1. Problemática	13
1.2. Objetivo Geral	14
1.3. Objetivos Específicos	14
1.4. Metodologia	14
2. O Governo Federal e o Plano de Saneamento Básico	18
3. Marco do Saneamento	23
4. Políticas de Saneamento no Rio de Janeiro/RJ	25
5. Gratuidade dos serviços da ETE para usuários de baixa renda	31
6. Desenvolvimento Sustentável	35
7. ETE na modalidade aeróbia	38
8. ETE na modalidade anaeróbio	40
9. Modalidades de ETE operantes no Rio de Janeiro/RJ	43
10. Preservação e sustentabilidade do funcionamento da ETE	46
11. Resultados e discussão	51
12. Conclusões	64
13. Referências Bibliográficas	66

Lista de figuras

Figura 1 – Relação entre os demais ODS e o ODS número 6	19
Figura 2 – Modelo de recursos naturais	36
Figura 3 – Modelo de tratamento aeróbio	39
Figura 4 – Lagoa anaeróbica	41
Figura 5 – Lagoa facultativa	42
Figura 6 – ETE da alegria no Rio de Janeiro (RJ)	44
Figura 7 – ETE da Barra da Tijuca	45
Figura 8 – Reator UASB	47
Figura 9 – ETE com energia solar – Mogi Mirim (SP)	49

Lista de quadros

Quadro 1 – <i>String</i> de busca	16
Quadro 2 – Critérios de inclusão e exclusão	17
Quadro 3 – Pesquisas retornadas	51

1 Introdução

Ao longo de diversos anos, o Brasil segue na proposta de universalização dos serviços mais básicos em saúde e saneamento, contudo no passar de longos anos, a natalidade aumenta, o número de habitantes brasileiros aumenta.

Atualmente, é perceptível que a universalização do acesso aos serviços básicos para melhoria da qualidade de vida não vem acontecendo de forma efetiva. Está muito aquém de uma parcela significativa da população ter o seu acesso a água potável e muito menos ao tratamento de esgoto.

Tais assertivas já foram abordadas no livro *Manual de Saneamento* (2015) da Fundação Nacional de Saúde, conforme vê-se abaixo:

Na sociedade moderna, a urbanização e o adensamento populacional trouxeram o incremento da geração de rejeitos líquidos e sólidos, a impermeabilização dos solos, dentre outros fatores que resultaram em novas situações de perigo à saúde humana e ao meio ambiente (Brasil, 2015, p. 16).

De fato, o aumento da concentração de pessoas em áreas urbanas tem levado a um aumento significativo na produção de resíduos, tanto líquidos quanto sólidos. Isso ocorre devido ao maior consumo de produtos, maior geração de resíduos domésticos e industriais, além do aumento da atividade comercial e de serviços (Perovano, Formigoni, 2011).

Essa maior geração de rejeitos, afirmam os mesmos autores, tem causado diversos problemas para a saúde humana e para o meio ambiente. Os resíduos líquidos, por exemplo, podem contaminar corpos d'água e afetar a qualidade da água para consumo humano e para a vida aquática. Já os resíduos sólidos podem causar problemas de saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças, como ratos e mosquitos.

Além disso, dizem Perovano e Formigoni (2011), impermeabilização dos solos também é uma consequência da urbanização e do adensamento populacional. A construção de edifícios, vias, estacionamentos e outras estruturas impermeáveis impede a infiltração da água no solo, causando o acúmulo de água e

o aumento da ocorrência de enchentes. Essas enchentes podem causar danos materiais, além de trazer problemas de saúde, como o aumento da incidência de doenças transmitidas pela água, como a dengue.

Por esta razão, é necessário que haja um trabalho conjunto entre órgãos governamentais, empresas, sociedade civil e comunidade, para promover a conscientização e a participação de todos na busca por soluções sustentáveis. A educação ambiental também é fundamental nesse processo, para que as pessoas entendam a importância do descarte adequado de resíduos, da conservação dos recursos hídricos e da adoção de práticas que reduzam a impermeabilização dos solos.

De acordo com o *Manual de Saneamento* (2015, p. 20):

O saneamento básico, de acordo com a Lei do Saneamento, inclui o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Desse conceito conclui-se que o homem e o meio possuem uma relação intrínseca que pode ser mediada pelo campo do saneamento. À medida que o saneamento evolui em conhecimento, tecnologia e investe na melhoria das condições sanitárias, entende-se que sem o saneamento seria impossível desfrutar da qualidade de vida (Brasil, 2015, p. 20).

Ao notar que qualquer melhoria no saneamento básico implica em uma melhor saúde da população, a medida mais correta e urgente que qualquer governante deveria adotar é o início e finalização de obras neste setor tão importante. Muitas obras são iniciadas e não são finalizadas, o que traz prejuízos para a população. Com o controle de gastos, despesas e burocracias, é possível focar nos modelos para implementação de um tratamento de esgoto que atenda as parcelas carentes que ainda não possuem esse serviço básico e indispensável (Santos et al., 2016).

Assim, como exemplo, partindo-se da experiência do pesquisador, destaca-se a importância da instalação de tubulações de esgoto e sistemas de tratamento adequados nas comunidades do Complexo do Alemão e Maré, no Rio de Janeiro. Aponta-se, também, a necessidade de escolher um local adequado para a instalação da estação de tratamento, levando em consideração a geografia do ambiente. O engenheiro ambiental, sabe-se, de acordo com o *Manual de*

Saneamento (2015), é responsável por planejar e garantir a preservação ambiental, além de zelar pela saúde das pessoas.

Feitas estas considerações, pode-se destacar a problemática desta pesquisa.

1.1. Problemática

A experiência do pesquisador, bem como as literaturas consultadas (Faria, 2020, Carcará, 2019, Vila Nova, 2019), apontam para as dificuldades das comunidades carentes do Rio de Janeiro a Estações de Tratamento de Efluentes. Na verdade, trata-se de áreas vulneráveis como as já mencionados Complexo do Alemão e da Maré.

Complexo do Alemão hoje enfrenta muitos desafios. A falta de infraestrutura adequada continua a ser um problema significativo, com muitos moradores lidando com esgoto a céu aberto e a ausência de uma rede de coleta de lixo eficiente.

Apesar de algumas melhorias pontuais, como a substituição de redes antigas para evitar o despejo de esgoto a céu aberto, a realidade é que muitas áreas ainda sofrem com a falta de investimentos em saneamento básico. Isso resulta em condições de vida precárias e aumenta a vulnerabilidade a doenças

No Complexo da Maré não é diferente, embora tenham redes de esgoto a maioria delas não estão conectadas aos troncos coletores que levam o esgoto até sua estação de tratamento, o esgoto é despejado em valões e rios e acabam poluindo a Baía de Guanabara.

Diante deste contexto, formulou-se a seguinte problemática para esta pesquisa: de que forma a geração de energia elétrica, a partir dos efluentes tratados, pode contribuir, de acordo com a literatura acadêmica produzida até a presente data, para o desenvolvimento sustentável?

Pretende-se que pela resposta desta questão seja possível contribuir para o estímulo da produção de políticas públicas que visem ao atendimento destas regiões mais vulneráveis pela implementação de tais ETEs.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é: analisar as produções científicas dos últimos 10 anos no intuito de se compreender de que forma a geração de energia elétrica a partir da ETE se constitui em uma prática de desenvolvimento sustentável.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Estabelecer o conceito de desenvolvimento sustentável.
- Destacar as diretrizes do governo federal para o desenvolvimento sustentável.
- Apontar as políticas de saneamento do Estado do Rio de Janeiro.
- Descrever a ETE em suas modalidades aeróbia e anaeróbia.

1.4. Metodologia

No que diz respeito à metodologia, esta pesquisa segue a abordagem qualitativa.

A pesquisa qualitativa, de acordo com Minayo (2004), é uma abordagem que busca compreender e interpretar os fenômenos estudados a partir da perspectiva dos sujeitos envolvidos. Ela se preocupa em entender o significado que os indivíduos atribuem às suas experiências, emoções e vivências, levando em consideração o contexto social, cultural e histórico em que estão inseridos.

Minayo (2004) destaca que a pesquisa qualitativa se baseia na coleta de dados não estruturados, utilizando técnicas como entrevistas abertas, observação participante e análise de documentos. Essas estratégias permitem ao pesquisador

explorar a complexidade e a subjetividade do objeto de estudo, captando aspectos que não são facilmente mensuráveis ou quantificáveis.

Segundo a mesma autora, a pesquisa qualitativa busca compreender os processos sociais, as relações interpessoais e os fenômenos sociais que ocorrem em determinado grupo ou contexto. Ela valoriza a subjetividade e a diversidade de perspectivas, dando voz aos sujeitos participantes da pesquisa. Dessa forma, a pesquisa qualitativa contribui para a construção de conhecimento mais rico e contextualizado sobre o objeto de estudo.

Minayo (2004) ressalta, ainda, que a pesquisa qualitativa não busca generalizar os resultados obtidos, mas sim compreender a particularidade e a complexidade dos fenômenos investigados. Ela destaca a importância de se analisar os dados de forma reflexiva e interpretativa, buscando identificar padrões, relações e significados subjacentes. Assim, a pesquisa qualitativa contribui para ampliar o entendimento sobre o objeto de estudo, possibilitando o desenvolvimento de intervenções e políticas mais adequadas e efetivas.

Do ponto visto operacional, o que se busca é realizar um levantamento bibliográfico. Este tem o propósito de se coletar, de forma secundária, dados a partir de contribuições culturais ou mesmo científicas que já tenham, em algum momento, sido realizadas. Trata-se, então, de um trabalho de leitura. Isto não quer dizer, porém, que esta seja feita de forma superficial. Muito pelo contrário: o levantamento bibliográfico se caracteriza pela leitura cuidadosa de pesquisas já realizadas por outros autores acerca do assunto em questão (Tozoni-Reis, 2009).

Ela começa, justamente, pela escolha responsável de tais autores. Isto quer dizer que não se pode, com o intuito de produzir conhecimento, selecionar obras de referência (sejam artigos científicos ou livros) que não tenham sido produzidos a partir dos critérios de rigor científico (Tozoni-Reis, 2009).

Esta é, então, uma revisão sistemática de literatura. As revisões sistemáticas, afirmam Baek et al. (2018), seguem diretrizes específicas, incluindo a definição da questão a ser abordada, a seleção das bases de dados para pesquisa e coleta de material, a criação de estratégias de busca avançada, a seleção e organização das informações encontradas.

Já quanto aos operadores booleanos, seu nome tem origem em George Boole, matemático inglês. Seu propósito é o de definir de que forma se vão combinar os vários resultados obtidos. Há três operadores booleanos, quais sejam:

- AND, em cujo resultado estão todos os termos pesquisados.
- OR, em cujo resultado encontra-se ao menos um dos termos da pesquisa.
- NOT, quando não há os termos pesquisados. Assim propõe-se uma pesquisa bastante genérica e muitas vezes ineficaz (Galvão et al., 2014).

Operadores booleanos são ferramentas utilizadas para refinar e direcionar pesquisas em bancos de dados e motores de busca. Eles ajudam a combinar ou excluir palavras-chave, tornando as buscas mais precisas.

Na presente pesquisa de revisão sistemática de literatura, optou-se pelo operador booleano AND, com a intenção de identificar a ocorrência simultânea dos assuntos pesquisados. Este trabalho serviu-se dos seguintes descritores, em duas línguas diferentes:

Quadro 1 – *String* de busca

ETE AND ENERGIA ELÉTRICA AND DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL AND EFLUENTES

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Adiante, em capítulo apropriado, apresentar-se-á os resultados levantados e far-se-á a sua discussão.

A plataforma de busca pela qual se decidiu foi a BDTD¹.

A plataforma BDTD (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações) é uma ferramenta essencial para estudantes, pesquisadores e demais interessados em acessar e compartilhar trabalhos acadêmicos de qualidade. Com o objetivo de ampliar o acesso à produção científica brasileira, a BDTD reúne teses e dissertações de diversas áreas do conhecimento, possibilitando a disseminação do conhecimento e o desenvolvimento de novas pesquisas.

¹ Disponível em: <<https://btdt.ibict.br/vufind/>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

A plataforma oferece uma interface intuitiva e de fácil navegação, permitindo que os usuários encontrem rapidamente as obras que desejam consultar. Além disso, é possível realizar buscas avançadas, filtrando os resultados por autor, título, instituição de ensino, área de pesquisa, entre outros critérios, o que torna a busca mais precisa e eficiente.

Os trabalhos disponíveis na BDTD são de alta qualidade, pois passam por um rigoroso processo de seleção e avaliação antes de serem disponibilizados na plataforma. Isso garante que os usuários tenham acesso a conteúdo confiáveis e relevantes, contribuindo para o avanço da ciência e da academia.

Outro ponto importante da BDTD é a possibilidade de compartilhar os trabalhos acadêmicos. Os autores têm a opção de disponibilizar suas teses e dissertações de forma aberta, permitindo que outros pesquisadores e interessados tenham acesso ao seu trabalho. Isso estimula a troca de conhecimento e a colaboração entre os membros da comunidade acadêmica, fortalecendo ainda mais a produção científica nacional.

Quanto aos critérios de inclusão e exclusão para a busca, estes foram:

Quadro 2 – Critérios de inclusão e exclusão

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO
CI1: Publicações com recorte temporal de 2013 a 2023.	CE1: Resumos, trabalhos pagos ou cujo acesso não esteja autorizados pelos autores.
CI2: Documentos que contenham no título, resumo ou palavras-chave os termos pesquisados que relacionem, diretamente, ETE, geração de energia, sustentabilidade.	CE2: Trabalhos que não contenham no método de busca expressamente os termos das equações de pesquisa.
CI3: Dissertações ou Teses.	CE3: Publicações em congressos, eventos científicos, convenções, conferências, simpósios, jornadas, monografias e capítulos de livros.
CI4: Trabalhos revisados por pares.	CE4: Documentos em outra língua que não a portuguesa.

Fonte: Elaboração própria, 2024.

2

O Governo Federal e o Plano de Saneamento Básico

Muito tem sido falado e cobrado em nível mundial sobre uma agenda que beneficie as pessoas mais carentes, com o objetivo de erradicar a pobreza e diminuir as desigualdades sociais, além de melhorar a saúde. Em consonância com essa agenda, o Supremo Tribunal Federal também tem ajustado seus julgamentos quando se depara com questões que se enquadram nos 17 objetivos acordados (Brasil, 2019).

A chamada "Agenda 2030", como ficou conhecida, é um plano global da ONU para alcançar um mundo melhor para todos os povos e nações até 2030. Durante a Assembleia Geral das Nações Unidas realizada em Nova York em setembro de 2015, com a participação de 193 estados membros, foram estabelecidos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. O compromisso assumido pelos países com essa agenda envolve a adoção de medidas ousadas, abrangentes e essenciais para promover o Estado de Direito, os direitos humanos e a responsabilidade das instituições políticas (Brasil, 2019).

O Brasil também se comprometeu com a Agenda 2030, que inclui, entre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o ODS 6, responsável por tratar da água potável e saneamento. O estado do Rio de Janeiro faz parte desse objetivo, conforme demonstrado na figura abaixo retirada do site do Supremo Tribunal Federal (Brasil, 2019).

Cabe citar, então, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6:

Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos

6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos

6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade

6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente

6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para

enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água

6.5 Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado

6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos

6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso

6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento (Brasil, 2019, p. 33).

O texto da Agência Nacional de Águas apresenta de que forma os 16 objetivos de desenvolvimento sustentável restantes estabelecidos pela ONU estão relacionados ao ODS número 6:



Figura 1 – Relação entre os demais ODS e o ODS número 6.
Fonte: Brasil, 2019, p. 11.

Ao confrontarmos esses objetivos com dados que indicam que apenas cerca de 55% da população brasileira possui acesso a redes de esgoto para o tratamento adequado, fica evidente a necessidade de avançarmos nesse tema, visando a preservação ambiental e a promoção da saúde das pessoas. Essas informações relevantes foram mencionadas em uma matéria que relata como os próprios moradores de uma comunidade carente do município do Rio de Janeiro conseguiram implementar um sistema de tratamento de esgoto eficiente, em conformidade com a agenda 2030.

Não é tarefa simples, visto que o problema não é fácil de resolver nem particular do Vale. Segundo dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), apenas 55% da população brasileira tem acesso a redes de esgoto, o que significa que quase 100 milhões de brasileiros não têm seus resíduos tratados (Notícia Sustentável, 2020, [s.p.])²

Para atender à necessidade de adequação e de baixa taxa de acesso ao tratamento de esgoto, especialmente para a parcela mais carente da população, o Brasil, comprometido com a Agenda 2030, sentiu a necessidade de elaborar uma lei que viabilizasse a implementação do ODS 6, conhecido como Marco do Saneamento, Lei n. 14.026 de 15 de julho de 2020.

Dentre os artigos legais do citado ordenamento estão:

Art. 7º A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, passa a vigorar com as seguintes alterações:

[...]

Art. 3º Para fins do disposto nesta Lei, considera-se:

I - Saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

[...]

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;

[...]

III - universalização: ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico, em todos os serviços previstos no inciso XIV do

² Disponível em: <<https://www.noticiasustentavel.com.br/rede-esgoto-biosustentavel/>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

caput deste artigo, incluídos o tratamento e a disposição final adequados dos esgotos sanitários;

[...]

XVI - sistema condominial: rede coletora de esgoto sanitário, assentada em posição viável no interior dos lotes ou conjunto de habitações, interligada à rede pública convencional em um único ponto ou à unidade de tratamento, utilizada onde há dificuldades de execução de redes ou ligações prediais no sistema convencional de esgotamento;

XVII - sistema individual alternativo de saneamento: ação de saneamento básico ou de afastamento e destinação final dos esgotos, quando o local não for atendido diretamente pela rede pública;

XVIII - sistema separador absoluto: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar exclusivamente esgoto sanitário;

XIX - sistema unitário: conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar conjuntamente esgoto sanitário e águas pluviais.

[...]

Art. 11-B. Os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável e de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, assim como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de redução de perdas e de melhoria dos processos de tratamento.

[...]

§ 4º É facultado à entidade reguladora prever hipóteses em que o prestador poderá utilizar métodos alternativos e descentralizados para os serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais, remotas ou em núcleos urbanos informais consolidados, sem prejuízo da sua cobrança, com vistas a garantir a economicidade da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

[...]

Art. 44. O licenciamento ambiental de unidades de tratamento de esgotos sanitários, de efluentes gerados nos processos de tratamento de água e das instalações integrantes dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos considerará os requisitos de eficácia e eficiência, a fim de alcançar progressivamente os padrões estabelecidos pela legislação ambiental, ponderada a capacidade de pagamento das populações e usuários envolvidos.

§ 1º A autoridade ambiental competente assegurará prioridade e estabelecerá procedimentos simplificados de licenciamento para as atividades a que se refere o caput deste artigo, em função do porte das unidades, dos impactos ambientais esperados e da resiliência de sua área de implantação.

§ 3º A agência reguladora competente estabelecerá metas progressivas para a substituição do sistema unitário pelo sistema separador absoluto, sendo obrigatório o tratamento dos esgotos coletados em períodos de estiagem, enquanto durar a transição (Brasil, 2020, [s. p.]).

Em relação ao compilado da legislação acima, o Brasil tem até 2033 para implantar o acesso ao tratamento de esgoto para 90% da população. Isso será feito através da implantação e/ou substituição da rede de tubulação única pelo sistema de separador absoluto, onde uma rede será destinada ao esgoto e outra exclusivamente às águas pluviais.

A lei também prevê a cobrança dos usuários pelo uso do serviço de tratamento de esgoto. No entanto, é importante destacar que existem comunidades carentes cujos moradores não possuem condições financeiras para arcar com esses custos. Por essa razão, é necessária a indicação da cobrança de uma tarifa social diferenciada para essas pessoas.

Infelizmente, a legislação do Marco do Saneamento não previu efetivamente a busca pela sustentabilidade máxima do sistema de ETE, como será abordado neste trabalho.

3 Marco do Saneamento

De acordo com Leite et al. (2022), a lei número 14.026/2020 definiu prazos obrigatórios para alcançar a universalização dos serviços de água e esgoto. Ela estabeleceu que os contratos de prestação de serviços públicos de saneamento básico devem incluir metas para garantir que 99% da população tenha acesso a água potável e 90% tenha acesso a coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033.

Para os contratos em vigor, afirmam os mesmos autores, que ainda não estabeleceram essas metas, foi dado até 31 de março de 2022 para sua inclusão. No entanto, se os estudos para licitação indicarem a impossibilidade econômico-financeira de alcançar a universalização até 31 de dezembro de 2033, mesmo após a regionalização dos serviços, o prazo pode ser estendido até 1º de janeiro de 2040, com aprovação prévia da agência reguladora.

Além disso, lembram Leite et al. (2022), a lei exige que as metas de universalização sejam observadas no nível municipal ou regionalizado, conforme aplicável. Também é condição para a validade dos contratos de execução dos serviços públicos de saneamento básico a existência de metas e cronogramas de universalização. Os contratos em vigor, bem como aqueles provenientes de licitações para prestação ou concessão de serviços públicos de saneamento básico, devem demonstrar a capacidade econômico-financeira da contratada para viabilizar a universalização dos serviços até 31 de dezembro de 2033.

No tocante à política de subsídios, o novo marco legal define-os como instrumentos econômicos de política social para garantir o acesso universal aos serviços públicos de saneamento básico por parte das populações de baixa renda. Também permite a adoção de subsídios tarifários e não tarifários para usuários com capacidade de pagamento insuficiente para cobrir o custo integral dos serviços (Leite et al., 2022).

Quanto à regulação dos serviços de saneamento básico, prosseguem os mesmos autores em seu comentário, a Lei nº 14.026/2020 atribui à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico a responsabilidade pela elaboração de

normas de referência. Essas normas devem ser observadas pelos titulares dos serviços, que podem delegar a regulação a outras entidades reguladoras, desde que observadas as normas gerais estabelecidas pela ANA. A verificação do cumprimento das metas de universalização é uma das atribuições das agências reguladoras.

Ao adentrar no mérito da legislação do marco do saneamento citada acima, sendo esta decorrente de ajustes realizados quando do comprometimento do Brasil com a Agenda 2030 da ONU, há de se aprofundar ligeiramente acerca das previsões para o futuro na implantação do esgotamento sanitário (Leite et al., 2022).

4

Políticas de Saneamento no Rio de Janeiro/RJ

Ao tratar do município do Rio de Janeiro, tendo-se em vista a Agenda 2030 e o Marco do Saneamento, destaca-se que foi realizado um processo de concessão dos serviços de saneamento básico da cidade do Rio de Janeiro.

A empresa Águas do Rio, pertencente ao Grupo AEGEA, foi a vencedora desse processo de concessão, conforme informações obtidas no próprio site da empresa, na seção "Quem Somos". A empresa baseia sua atuação e busca por eficiência nos princípios estabelecidos pelo Marco do Saneamento e pela Agenda 2030 da ONU, os quais norteiam suas atividades e esforços para melhorar os serviços prestados:

Durante o período de concessão, iniciado em 1º de novembro de 2021, a companhia realizará o maior investimento em saneamento básico no país, em torno de R\$ 39 bilhões. R\$ 15,4 bilhões em outorga, para serem aplicados em projetos prioritários dos governos estadual e municipais, e R\$ 24,4 bilhões para a universalização dos serviços de água e esgoto, que será alcançada nos primeiros 12 anos, em alinhamento ao novo Marco Regulatório de Saneamento.

Esses números representam um passo importante rumo à preservação do meio ambiente e são frutos da experiência em gestão em saneamento, eficiência operacional, firme compromisso com a sustentabilidade e com a saúde e dignidade das pessoas. (Águas do Rio, [s.d., n.p.].

Assim, embora esta pesquisa esteja voltada à preocupação com as comunidades vulneráveis do Rio de Janeiro, cabe realizar um breve histórico do sistema de esgotamento da cidade como um todo.

Para tanto, segue-se o trabalho de Britto e Quintslr (2018).

Como afirmam os autores, a colonização dos municípios da Baixada Fluminense (BF) e do Rio de Janeiro propriamente teve início no século XVI com a introdução do cultivo de cana-de-açúcar em grandes propriedades. Nesse período, o transporte fluvial era fundamental para escoar a produção agrícola e o ouro proveniente de Minas Gerais até o Porto do Rio de Janeiro, resultando na formação de núcleos populacionais prósperos, principalmente nos portos fluviais da região. Estes núcleos, embora pequenos, cresceram gradualmente até o século

XIX, quando a BF se tornou uma rota importante para o escoamento da produção de café do Vale do Paraíba.

Até então, dizem Britto e Quintslr (2018), os rios serviam como vias naturais de transporte e não haviam sido alvo de grandes intervenções, exceto pela limpeza regular para garantir a navegação. A partir de 1854, as ferrovias começaram a substituir os rios como meio de transporte, levando ao abandono da maioria dos portos. O traçado das estradas de ferro resultou no represamento das águas, enquanto o abandono da limpeza dos rios piorou a situação.

A segunda metade do século XIX, afirmam os mesmos autores, foi marcada pela relativa estagnação econômica da região e pelo início de sua representação como um local pantanoso e insalubre, com os rios meandrados e os pântanos sendo vistos como focos de insalubridade.

Em 1910, dizem Britto e Quintslr (2018), o governo federal criou a Comissão Federal de Saneamento e Desobstrução dos Rios que Deságuam na Baía de Guanabara, realizando obras como a retificação parcial do rio Sarapuí e a limpeza, desobstrução e dragagem de vários rios. O objetivo dessas intervenções era tornar as terras atrativas para a agricultura, levando ao cultivo de laranjas, cuja exportação para a Europa impulsionou a economia regional. Essas tentativas de saneamento da BF, que visavam eliminar áreas alagadas, permitiram o loteamento e a ocupação de certas áreas, especialmente nos territórios que hoje correspondem aos municípios de Nilópolis, São João de Meriti e parte sul de Duque de Caxias.

Posteriormente, voltando sua análise histórica à Baixada Fluminense, os autores informam que a Comissão de Saneamento da Baixada Fluminense, estabelecida em 1933 e posteriormente transformada em Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense (DSBF), realizou obras de maior porte na região. No entanto, o ciclo econômico da laranja entrou em declínio na década de 1940 devido à crise das exportações durante a Segunda Guerra Mundial, levando ao processo de urbanização gradual das áreas saneadas, à medida que foram incorporadas ao tecido urbano da cidade do Rio de Janeiro.

No entanto, a Comissão de Saneamento não previu a instalação de redes de abastecimento de água e esgoto, uma vez que as obras visavam principalmente à incorporação agrícola dessas áreas. Isso resultou em áreas urbanas sem infraestrutura adequada, mas com preços imobiliários altos devido à demanda por

moradias na cidade do Rio de Janeiro e ao grande fluxo migratório, o que incentivou o parcelamento de terras para fins residenciais (Britto; Quintslr, 2018).

Britto e Quintslr (2018) prosseguem afirmando que, na década de 1950, a ocupação urbana da região acelerou-se com o parcelamento e venda de lotes sem infraestrutura mínima para habitabilidade, direcionados a trabalhadores de baixa renda da capital. A falta de regulamentação por parte das autoridades locais levou ao surgimento de loteamentos irregulares e clandestinos, como uma solução habitacional para a classe trabalhadora diante da escassez de recursos públicos para habitação social.

Até 1975, os serviços de saneamento básico na BF eram prestados pela Companhia de Saneamento do Estado do Rio de Janeiro (Sanerj), que atendia precariamente os municípios com abastecimento de água e praticamente inexistia em redes de esgoto. Após a fusão dos estados do Rio de Janeiro e da Guanabara, em 1975, foi criada a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae).

Em dias atuais, como já se afirmou, a empresa Águas do Rio é a responsável por gerir o sistema de saneamento da cidade do Rio de Janeiro.

Feitas estas considerações, cabe lembrar, ainda, que o que caracteriza a história da produção e da gestão do saneamento básico no Rio de Janeiro e, de acordo com os mesmos autores (Britto; Quintslr, 2018), no restante do Brasil e em diversos países, é o que eles chamam de desigualdade ambiental e de distribuição e acesso de serviços de saneamento.

De acordo com Acselrad (2011), desde a ascensão do movimento por justiça ambiental nos EUA na década de 1980, pesquisadores de diferentes áreas têm evidenciado a relação entre moradias em áreas de risco e as características socioeconômicas da população. Isso configura uma situação de desigualdade ambiental. Além disso, alguns pesquisadores, afirma o mesmo autor, têm se concentrado nas formas de produção dessas desigualdades, abordando o papel dos mercados de terras e habitação, assim como os mecanismos políticos e decisórios relacionados à localização de empreendimentos indesejados e à infraestrutura urbana.

Em relação aos mercados de terras e habitação, existem três padrões descritos na literatura, conforme Acselrad (2011).

No primeiro, a presença de um empreendimento poluidor em determinada área leva à desvalorização das moradias e faz com que famílias de maior renda busquem outros locais para viver, deixando as áreas de baixa qualidade ambiental para as famílias mais pobres e com menor mobilidade residencial. No segundo padrão, são construídas moradias populares próximas a empreendimentos indesejáveis, devido ao preço mais baixo do terreno. Isso também pode ocorrer em áreas sem infraestrutura urbana, como é o caso da ocupação do Complexo do Alemão e da Maré. Por fim, indústrias poluidoras ou outras instalações danosas ao meio ambiente podem se instalar em comunidades compostas por minorias por motivos econômicos relacionados ao preço da terra.

No entanto, esses três padrões não são suficientes para explicar todas as situações de desigualdade ambiental.

Por isso, Acselrad (2011) argumenta que as explicações baseadas no livre mercado tendem a subestimar as práticas sociais de discriminação racial, ao reduzi-las a processos econômicos. Além disso, no caso específico do acesso a serviços públicos de coleta e tratamento de esgoto, essas explicações são incompletas. É necessário compreender os motivos pelos quais essa desigualdade persiste até hoje.

Para isso, é importante adotar uma perspectiva relacional que aborde a relação entre os diferentes espaços da cidade e os processos sociais em diferentes escalas. A geografia crítica, lembram Britto e Quintlsr (2018), argumenta que o espaço não é absoluto, mas relativo e relacional, estando em estreita relação com os processos sociais. Daí a importância de identificar os mecanismos e processos pelos quais os grupos privilegiados garantem sua permanência em áreas menos impactadas ambientalmente e atraem investimentos para essas áreas, em detrimento de outros grupos.

Por esta razão, Acselrad (2011) defende uma abordagem processual e relacional para compreender a vulnerabilidade ambiental, direcionando o foco para os processos políticos que perpetuam o risco entre os menos protegidos. O mesmo autor também destaca a complexidade dos processos espaciais, políticos e sociais que levam às desigualdades ambientais.

Por exemplo, a alocação de investimentos em água e esgoto no município do Rio de Janeiro foi desigual, priorizando o centro em detrimento da periferia,

onde residiam famílias com menor renda *per capita*. Essa distribuição desigual foi influenciada pelo modelo centro-periferia e pela atuação de grupos economicamente dominantes na formulação de políticas públicas e no processo de *lobby* (Britto; Quintslr, 2011).

Se se consulta as informações disponíveis no site da empresa mencionada, é evidente que nenhuma modernização, modificação ou melhoria ocorrerá sem investimento adequado. Como o serviço foi concedido a uma empresa privada, essa empresa terá como principal objetivo obter lucro por meio da cobrança dos usuários pelos serviços prestados.

Como se trata de uma parceria público-privada para a exploração do saneamento básico, qualquer imposição de mudanças na forma de administração dos serviços ou possíveis cobranças precisará ser prevista legalmente, para que a empresa possa se adequar.

Inicialmente, se não houver mudanças ao longo da aplicação dos recursos e uma previsão legal, a empresa Águas do Rio não instalará uma segunda rede de tubulação dedicada exclusivamente à coleta de esgoto. Portanto, tanto o esgoto quanto a água pluvial serão coletados e encaminhados para um local planejado para tratamento de resíduos, como mencionado no site na seção "Esgotamento Sanitário".

É evidente que o objetivo final desse procedimento da empresa Águas do Rio é a preservação da natureza, o que também está nas mãos do Engenheiro Ambiental, e resultará inicialmente na recuperação ambiental da Baía de Guanabara e, conseqüentemente, em uma melhoria na qualidade de vida das pessoas.

Por outro lado, é um fato que a previsão do Marco do Saneamento direciona apenas para as obrigações de prestação do serviço, sem considerar a quem se destina, suas condições financeiras e as desigualdades dos usuários do sistema. Por isso, a falta de uma legislação que preveja fontes de subsídio de uma tarifa social em favor da população carente acaba comprometendo o próprio usuário da ETE, que será cobrado mesmo sem ter condições financeiras para isso.

Com relação à diferenciação no tratamento da população de baixa renda, a empresa Águas do Rio menciona a existência de uma tarifa diferenciada, conforme descrito na seção "Responsabilidade Social" do site.

A empresa ampliará o acesso à tarifa social, que atualmente é utilizada por menos de 1% dos clientes. A Águas do Rio se compromete a ultrapassar a meta contratual de 5%, proporcionando condições para que todos tenham água tratada nas torneiras e esgoto coletado e tratado, para que alcancem dignidade e qualidade de vida.

Apesar de a empresa mencionar que já utiliza tarifa social em benefício da população carente, o objetivo é reduzir ainda mais o valor desse serviço para os necessitados. Para isso, a empresa terá a oportunidade de obter outras fontes de financiamento para subsidiar esse tipo de tarifa.

Entre estas fontes, uma alternativa bastante comum é a geração de energia elétrica a partir de efluentes tratados.

5

Gratuidade dos serviços da ETE para usuários de baixa renda

Ao mencionar anteriormente a possibilidade de oferta do serviço de tratamento de esgoto a um preço acessível para as pessoas carentes das comunidades do Rio de Janeiro/RJ, é necessário analisar como esse benefício pode ser implantado de forma eficiente.

Considerando que o serviço é fornecido pelo órgão público, mas executado por uma parceria público-privada, é importante estabelecer regras que garantam seu bom funcionamento. Nesse caso, tais regras devem ser estabelecidas por meio de uma legislação indicativa. Já existe, inclusive, um projeto de lei no Rio de Janeiro que menciona a criação da tarifa social.

O projeto de lei n. 5.684/22 foi aprovado em primeira votação em 20/12/2022, mas ainda precisa passar por mais uma sessão para ser definitivamente aprovado. Esse projeto de lei também regulamentará o Decreto n. 25.438/99, que prevê a criação da tarifa social, mas de forma generalizada, como se aponta:

Art. 1º - A cota mínima mensal de água e esgoto para cada imóvel residencial localizado nas áreas identificadas como de interesse social será de R\$ 5,00 (cinco reais).

Parágrafo Único – Para efeito do cálculo do valor total indicado no CAPUT deste artigo, foram adotados os seguintes critérios:

I. para cálculo do valor devido pelo serviço de abastecimento de água:

- a) tarifa B (sem ICMS), de R\$ 0,417619, como a tarifa básica;
- b) 6,0 m³ (seis metros cúbicos), como volume mensal de água estimado para cada unidade residencial.

II para o cálculo do valor devido pelo serviço de esgotamento sanitário, 100% (cem por cento) do valor devido pelo fornecimento de água

Art. 2. As áreas de interesse social serão definidas pelo Secretário de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos, devendo a respectiva circunscrição ser indicada com o maior detalhamento possível, para sua perfeita identificação.

[...]

Art. 6º - As áreas definidas como de interesse social, que apresentarem cumulativamente os maiores índices de imóveis beneficiários deste Decreto e os menores índices de inadimplência, serão consideradas prioritárias para fins da realização de novos investimentos.

Visto anteriormente, já há uma estipulação de um valor mínimo, porém o objetivo é demonstrar que é possível reduzir ainda mais o valor que atualmente está sendo aplicado. O autor deste estudo busca fornecer subsídios para compensar qualquer diminuição no valor da tarifa social já existente, além de promover a preservação da natureza e a sustentabilidade da operação das ETE.

É importante ressaltar que o Decreto 24.438/99 não esclarece como será feita a seleção dos usuários e das localidades. Por esse motivo, a Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro criou o Projeto de Lei 5.684/22, que tem como objetivo estabelecer essas localidades e os requisitos para a inclusão na tarifa social previamente estipulada.

Para esclarecer, o Projeto de Lei 5.684/22 menciona:

Art. 1º Fica instituída a tarifa social referente ao serviço de fornecimento de água e manutenção da rede de esgotamento sanitário no Estado do Rio de Janeiro.

Art. 2º Incluem-se nas determinações desta lei todas as prestadoras de serviço de água e esgotamento sanitário, públicas ou privadas, com atuação no Estado do Rio de Janeiro.

Art. 3º A tarifa social referente ao fornecimento de água será equivalente a 1% (um por cento) do valor do salário-mínimo vigente no país.

Parágrafo único. A tarifa social referente ao serviço de manutenção da rede de esgotamento sanitário será igual à estabelecida no caput deste artigo, sendo cobrada unicamente nos locais onde o serviço de coleta de esgoto é oferecido.

Art. 4º São beneficiários da tarifa social de água e esgotamento sanitário os habitantes de imóveis residenciais situados nas áreas consideradas de interesse social, definidas por cada município em sua extensão territorial e de acordo com o respectivo plano diretor de desenvolvimento urbano, devendo a respectiva circunscrição ser indicada com o maior detalhamento possível, para sua perfeita identificação.

Art. 5º Também estão incluídos entre os beneficiários da tarifa social estabelecida nesta lei os habitantes de:

I – favelas;

II – comunidades carentes;

III – conjuntos habitacionais destinados a moradores de baixa renda;

IV – conjuntos habitacionais construídos pelo Sistema Financeiro de Habitação para população com renda familiar até 3 (três) salários-mínimos.

V – conjuntos habitacionais do programa Minha Casa Minha Vida, grupo de 1 a 3 salários-mínimos;

VI – habitações populares destinadas às famílias de baixa renda em terrenos cedidos por órgãos públicos federais, estaduais e municipais;

VII – imóveis situados em áreas de interesse social para residências até 65 m² (sessenta e cinco metros quadrados) e comércios até 50 m² (cinquenta metros quadrados) situados em loteamentos irregulares ou clandestinos em áreas de posse, periferias de favelas e áreas de risco com impossibilidade de vistoria para apuração da área construída;

VIII – habitações populares em áreas abrangidas pelos Programas de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal, conforme o Decreto nº 6.025, de 22 de janeiro de 2007.

Art. 6º Também terão direito à tarifa social referente ao serviço de fornecimento de água e manutenção da rede de esgotamento sanitário, quando fora das localidades descritas nos artigos 4º e 5º desta lei, famílias com renda per capita de até meio salário-mínimo.

§ 1º Para usufruírem do benefício de que trata este artigo, as famílias, por meio de seu representante legal, deverão estar inscritas no Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), de que trata o Decreto nº 6.135, de 26 de junho de 2007.

§ 2º O acesso ao desconto estabelecido neste artigo far-se-á mediante a apresentação, perante a prestadora do serviço, por qualquer membro da família beneficiada, da Carteira de Identidade ou do número de inscrição no Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) e da respectiva conta de água e/ou esgoto.

§ 3º Este benefício será aplicado a somente 1 (uma) unidade consumidora por família de baixa renda.

§ 4º O Poder Executivo e as prestadoras de serviço de água e esgotamento sanitário deverão informar a todas as famílias inscritas no CadÚnico que atendam às condições estabelecidas nesta lei o seu direito ao desconto nas tarifas.

Em matéria divulgada no *site* da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, tem-se que:

Atualmente, essa tarifa social é regulamentada somente pelo Decreto 25.438/99. “A leitura do decreto indica que são beneficiários de tarifa social os imóveis residenciais situados nas áreas consideradas de interesse social, definidas pelo ‘Secretário de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos’. Não está claro que áreas são estas e quais os critérios para defini-las, já que estes são atribuições dos municípios, através dos respectivos planos diretores”, explicou Luiz Paulo. (Última Hora online, 2023).

Ao analisar o conteúdo da legislação em votação, é perceptível que o autor abordará as fontes de custeio para tornar a tarifa social ainda mais barata do que já é praticada atualmente. Vale lembrar que a forma de tornar isso possível é através de previsão legal, iniciando por um projeto na Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro.

É indiscutível que o texto legislativo em votação torna mais justo o benefício social do saneamento básico, não se limitando apenas às comunidades relacionadas e indicadas, mas também abrangendo qualquer família ou pessoa que preencha os requisitos exigidos, independentemente de onde estejam morando.

Dependendo da agilidade da nova votação do projeto mencionado acima, e caso ainda haja tempo para a indicação de estudos e mudanças no texto, sugere-se a inclusão das fontes de custeio do saneamento básico (energia, fertilizantes e combustíveis). Em troca dessa tarifa social ainda mais barata, a concessionária "Águas do Rio" será autorizada a explorar a geração e venda de combustível, energias e fertilizantes utilizando a estrutura das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que estão sob sua responsabilidade.

Em relação à inclusão de diversas famílias de baixa renda, principalmente nas favelas da cidade do Rio de Janeiro, foi apontado o seguinte:

Dados sobre domicílios em favelas (aglomerados subnormais) do Censo de 2010 do IBGE indicam que, se a totalidade das moradias em favelas fossem incluídas formalmente na tarifa social, teríamos no ano de 2010 um acréscimo de 17,5% de beneficiários, totalizando 26% dos domicílios do município do Rio de Janeiro sendo enquadrados no benefício da tarifa social. Como os dados do Censo estão defasados, o número atual deve ser superior ao indicado. (Britto; Araújo, 2020, [n.p.]).

A inclusão, diante do exposto acima, acontece à medida que o saneamento básico é universalizado, a preservação ambiental é efetiva e, conseqüentemente, as pessoas têm uma melhoria na saúde.

Uma ETE, do ponto de vista da Engenharia Ambiental, é considerada sustentável quando gera sua própria energia, devolve água tratada aos rios, destina devidamente o gás, líquidos e sólidos resultantes do tratamento de esgoto, evitando dispersá-los no ambiente, e proporciona um ambiente mais saudável, resultando em uma melhoria na qualidade de vida da população.

6 Desenvolvimento Sustentável

O desenvolvimento sustentável reconhece que as empresas têm um papel fundamental nesse processo, uma vez que são grandes usuárias de recursos naturais e, também, geradoras de impactos ambientais e sociais (Chaves; Castello, 2013).

Os autores ressaltam que os processos produtivos das empresas são considerados um dos principais causadores de danos ao meio ambiente, devido ao uso excessivo de recursos naturais em relação à sua capacidade de renovação e absorção. Além disso, o consumismo desenfreado e irresponsável também contribui para esses impactos negativos.

É importante ressaltar que esses impactos geram custos ambientais e sociais que, muitas vezes, não são considerados no processo de precificação de bens e serviços, afirmam Chaves e Castello (2013). Isso significa que as empresas não estão internalizando os custos ambientais e sociais em seus processos de produção e comercialização, o que acaba gerando externalidades negativas para a sociedade.

Diante desse cenário, faz-se necessário destacar o desenvolvimento sustentável como uma alternativa para as empresas, pois busca conciliar as dimensões econômica, social e ambiental. Isso significa que as empresas devem considerar não apenas o lucro, mas também os impactos sociais e ambientais de suas atividades. Daí a responsabilidade social acerca da qual já se mencionou acima (Chaves; Castello, 2013).

O desenvolvimento sustentável, dizem os autores, é um conceito que busca conciliar o crescimento econômico com a responsabilidade ambiental e social. As empresas desempenham um papel importante nesse processo, devendo adotar práticas de responsabilidade socioambiental em suas atividades.

Chaves e Castello (2005, p. 02) apresentam um modelo sistêmico de recursos naturais:

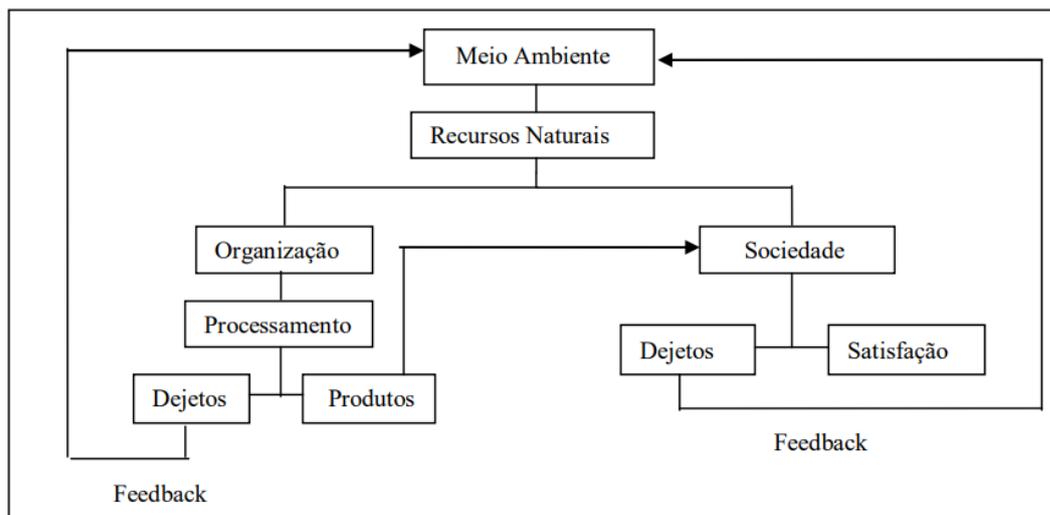


Figura 2 – Modelo de recursos naturais.

Fonte: Chaves; Castello, 2005, p. 2.

O desenvolvimento sustentável é um conceito que surgiu como resposta aos impactos negativos causados pela atividade produtiva sobre o meio ambiente. Antes disso, já havia discussões sobre a necessidade de conciliar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais. No entanto, foi somente na década de 1970, com a intensificação da globalização, que essas questões ganharam mais relevância (Chaves; Castello, 2005).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em Estocolmo em 1972, foi um marco importante na busca por soluções para os problemas ambientais. Nessa conferência, defendeu-se a ideia de que desenvolvimento e conservação ambiental não são temas incompatíveis. A partir desse momento, surgiu um movimento crescente em prol da compatibilização e racionalização dos interesses sociais, ambientais e econômicos em benefício das futuras gerações (Chaves; Castello, 2005).

Na década de 1980, com o avanço tecnológico e o crescimento do movimento ecológico, a questão da sobrevivência da espécie humana no planeta se tornou ainda mais evidente. As discussões sobre os impactos adversos do desenvolvimento no meio ambiente deram lugar a um novo debate sobre as perspectivas de desenvolvimento em um meio ambiente degradado.

Foi nesse contexto, afirma Muller (2007), que surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, que consiste em atender às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias

necessidades. No entanto, o maior desafio do desenvolvimento sustentável está em trazer as considerações ambientais para o centro das tomadas de decisões econômicas e do planejamento em níveis local, regional e global. Para isso, foram realizadas conferências internacionais, como a Rio-92 e a Rio+10, que buscaram estabelecer uma agenda de cooperação internacional e promover discussões sobre problemas ambientais globais.

O desenvolvimento sustentável é um conceito que se baseia na ideia de que é possível conciliar o crescimento econômico com a preservação do meio ambiente e a promoção da equidade social. Segundo Sachs (1993), esse conceito possui diversas dimensões que devem ser consideradas.

A primeira dimensão, afirma o autor (Sachs, 1993) é a sustentabilidade social, que se refere à construção de uma sociedade mais justa e equitativa, com distribuição de renda e melhoria dos direitos sociais. Isso implica em reduzir as desigualdades sociais e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

A segunda dimensão é a sustentabilidade econômica, que envolve uma alocação mais eficiente dos recursos, por meio de investimentos tanto públicos quanto privados, além do acesso à ciência e tecnologia. Essa eficiência econômica deve ser avaliada tanto em nível macro, considerando o desenvolvimento econômico de um país, quanto em nível micro, levando em conta aspectos espaciais (Sachs, 1993).

A terceira dimensão, de acordo com Chaves e Castello (2005) é a sustentabilidade ecológica, que implica na utilização de tecnologias que permitam a produção de novos recursos naturais e a redução do uso de combustíveis fósseis. Isso visa minimizar os impactos ambientais causados pela atividade humana.

A quarta dimensão, dizem os mesmos autores, é a sustentabilidade espacial, que se refere à maximização do uso dos espaços e à proteção dos ecossistemas. Isso implica em um planejamento territorial que leve em conta a preservação dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento local.

Por fim, a quinta dimensão é a sustentabilidade cultural, que envolve processos de mudança na comunidade, buscando soluções específicas para cada contexto. Isso implica em considerar os valores, costumes e tradições de cada sociedade, de forma a promover um desenvolvimento que seja culturalmente adequado.

7

ETE na modalidade aeróbia

Sobre a Estação de Tratamento de Esgoto, este processo ocorre de diversas formas, uma delas utiliza o sistema aeróbio que depende de oxigênio para neutralizar os agentes poluentes. Esse sistema dilui os poluentes em um grande volume de água:

A decomposição aeróbia (oxidação) acontece quando a matéria orgânica está em íntimo contato com o oxigênio livre. Quando a massa orgânica colocada em contato com o ar for muito espessa, a oxidação só acontecerá na superfície livre, e, conseqüentemente, o seu interior sofrerá decomposição anaeróbia (redução) devido à falta de oxigênio. Entretanto, se a mesma massa for diluída em grande volume de água contendo oxigênio dissolvido, a decomposição pode ser totalmente aeróbia, porque essas condições propiciam um íntimo contato das substâncias orgânicas tanto com o oxigênio quanto com as bactérias aeróbias. (Gomes, 1995, p. 113).

A modalidade de tratamento de esgoto aeróbico surgiu na Europa na década de 1980 e começou a ser utilizado no Brasil por volta de meados de 1990. Trata-se de um sistema compacto com indução de ar. Nessa modalidade, são exigidas algumas etapas diferenciadas para a realização do ciclo completo do tratamento de esgoto:

Numa das configurações de projeto, o meio suporte tem a granulometria mais fina, geralmente em camadas de brita nº 4/nº 2/nº 1 e nº 0, visando eliminar as partículas em suspensão pelo mecanismo de filtração, além de promover a redução dos compostos orgânicos solúveis pela ação dos micro-organismos aeróbios aderidos no biofilme. Estes costumam ser chamados de biofiltros aerados submersos (BFs), e necessitam de lavagens frequentes para retirar o excesso de biomassa e sólidos suspensos (lodo), que gradativamente aumenta a perda de carga hidráulica no leito, e, por consequência, precisam também de um tanque de lodo de lavagem que o faz retornar, com bombeamento, à unidade de tratamento primário. A colocação de uma camada de areia no material filtrante produz efluente altamente clarificado; no entanto, aumenta bastante a frequência de lavagem para eliminar o excesso de biomassa acumulada, mantendo as perdas de carga hidráulica por intermédio do meio poroso em níveis aceitáveis.

O consumo de energia para as bombas e o ar são fatores a serem considerados tanto na operação normal quanto na lavagem das unidades. (Brasil, 1986, p. 27).

Para entender como seria a implantação e como funcionaria um tratamento aeróbio, tem-se na imagem abaixo:

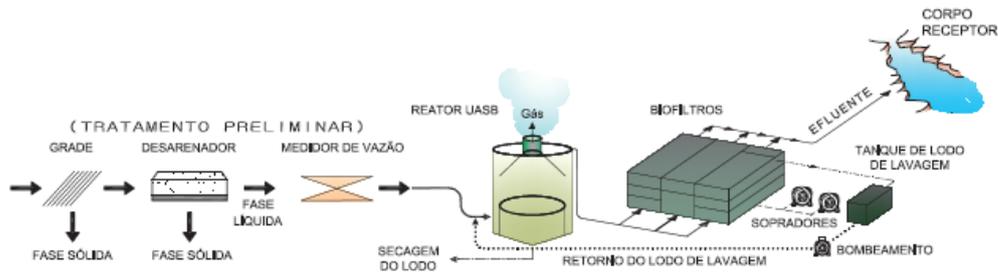


Figura 3 – Modelo de tratamento aeróbio.
Fonte: Brasil, 2015, p. 189.

Vê-se que haverá tanques com água onde ocorrerá a separação do lodo, seja através de filtro ou por decantação. O lodo será redirecionado de volta para os tanques de água, após passar pelos devidos filtros. Com a ajuda dos sopradores, as bactérias que dependem do oxigênio irão decompor parte desse lodo, reduzindo e possivelmente eliminando o excesso. Dessa forma, a água utilizada no processo ficará cada vez mais livre de contaminação. O lodo ativado resultante pode ser devolvido à natureza ou em um local apropriado. O lodo é composto principalmente por produtos biológicos e químicos provenientes das bactérias usadas na decomposição e transformação da matéria.

8

ETE na modalidade anaeróbio

A estação de tratamento de esgoto na modalidade anaeróbia é um tipo de lagoa de estabilização. Como o próprio nome sugere, são tanques ou lagoas que permitem que o líquido do esgoto descanse até que a matéria orgânica se separe da água (Brasil, 2015).

Dentre essas lagoas de estabilização, a principal é a lagoa anaeróbia. Ao contrário do modelo aeróbio, neste tipo de lagoa não é utilizada a indução de aeração, ou seja, a presença de oxigênio é evitada ao máximo (Brasil, 2015).

Adiante, há de se esclarecer que as lagoas anaeróbias não são utilizadas isoladamente, pois não há a devida eficiência em estabilizar os poluentes químicos, é isso o que explica no *Manual do Saneamento* (2015):

As condições climáticas, especialmente temperaturas médias elevadas, fazem das lagoas de estabilização uma alternativa muito apropriada para o tratamento de esgotos domésticos. São o mais simples método de tratamento de esgotos existente. Construídas por meio de escavação no terreno natural, cercado de taludes de terra ou revestido com placas de concreto. Geralmente têm a forma retangular.

A lagoa anaeróbia não é usada isoladamente devido ao seu efluente apresentar boa redução na matéria orgânica, porém insatisfatório para o lançamento final, pois, como qualquer outro reator anaeróbio, tem concentração indesejável de amônia e sulfetos, ausência de oxigênio dissolvido, elevada carga de micro-organismos patogênicos e nutrientes não removidos. Será apresentada neste manual, juntamente às unidades primárias, visto que responde pela fase inicial do sistema de tratamento de esgotos com lagoas de estabilização, oxidando compostos orgânicos complexos, antes do tratamento com lagoas facultativas fotossintéticas em nível secundário (Brasil, 2015, p. 58).

É neste tipo de tratamento que se facilita a obtenção de biogás, bem como a obtenção do lodo em matéria sólida, sendo que este deve ainda passar pelo processo de secagem o qual tem um custo diferenciado pela exigência de processos diversos. Para facilitar o entendimento acerca do funcionamento do sistema anaeróbio, tem-se a imagem abaixo, obtida no livro *Manual de Saneamento*:

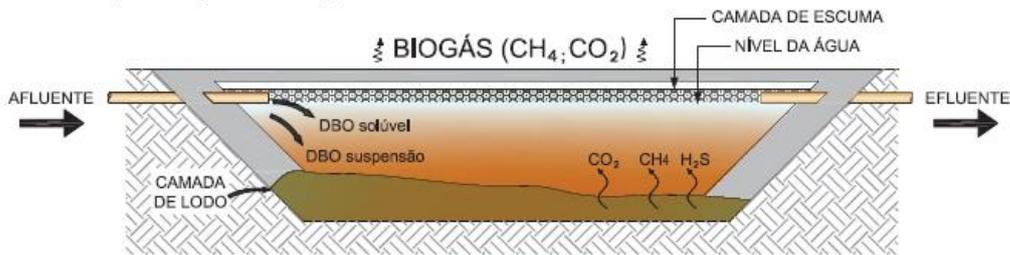


Figura 4 – Lagoa anaeróbica.
Fonte: Brasil, 2015, p. 154.

De acordo com a imagem acima, é fácil constatar que se trata de um tanque onde o esgoto com matéria orgânica é recebido e permanece até que seja o momento adequado para separar o lodo do líquido. A lagoa anaeróbica é indicada para uso em conjunto com a lagoa facultativa, que é menos profunda, porém maior em dimensão se comparada com a lagoa anaeróbica. Ambas as formas são anaeróbicas, porém a lagoa facultativa permite a entrada da luz solar até determinada profundidade, o que resulta na produção de oxigênio consumido por bactérias, que por sua vez geram o gás carbônico. As algas presentes na lagoa se alimentam desse gás carbônico. O livro *Manual de Saneamento* traz mais informações sobre a lagoa facultativa:

É o processo de tratamento mais simples, dependendo unicamente de fenômenos naturais, no qual o esgoto demora vários dias para fazer o percurso entre a entrada e a saída num compartimento construído por meio de escavação e aterro no solo, projetado para propiciar maior eficiência e economia. Os sólidos inorgânicos (material inerte), que passaram pelo tratamento preliminar e pela matéria orgânica em suspensão, sedimentam-se, constituindo o lodo de fundo, que sofre decomposição anaeróbica na sua fração orgânica, sendo convertido em gás carbônico, água, metano, minerais sólidos e solúveis, além de outros subprodutos da digestão anaeróbica, permanecendo apenas a fração inerte na camada de fundo. A matéria orgânica dissolvida e aquela finamente particulada, que não sedimentam, permanecem dispersas na massa líquida, e sua decomposição ocorre por ação de bactérias facultativas, as quais sobrevivem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio, daí a origem do nome da lagoa. Os minerais solúveis são sintetizados, transformando-se em algas. (Brasil, 2015, p. 37).

Desse modo a figura abaixo, retirada do livro *Manual de Saneamento*, representa o procedimento executado com a lagoa secundária

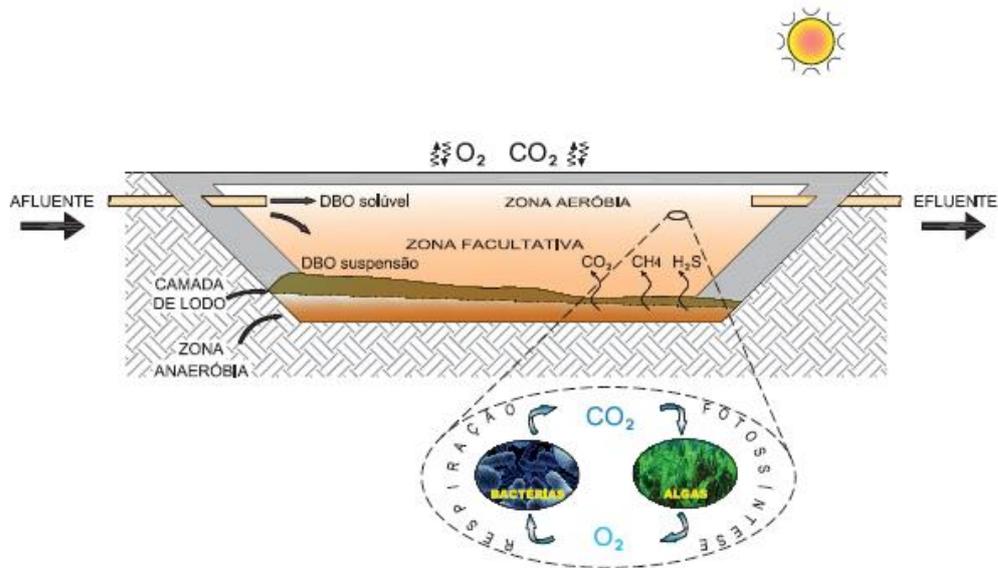


Figura 5 – Lagoa facultativa.

Fonte: Brasil, 2015, p. 215.

Na figura nota-se que o tanque que acondicionará o esgoto é mais raso que na modalidade de lagoa anaeróbia, a conclusão de que há a oxigenação na água justamente em decorrência da melhor penetração da luz solar até que atinja com mais facilidade a parte superior do lodo que se forma, fazendo com que as bactérias se alimentem do oxigênio e forneçam o gás carbônico que será o alimento das algas conforme representado na figura acima. Apenas a parte mais inferior do lodo é que não receberá a luz solar e, portanto, não formará o oxigênio.

9

Modalidades de ETE operantes no Rio de Janeiro/RJ

Sobre o ETE na modalidade aeróbica, tem-se que não depender de um território grande para ser implantado. O resultado é ótimo e não há tanta exigência de operacionalidade, pois não requer um procedimento rigoroso a ser cumprido. Por outro lado, o custo fica elevado e exige um acompanhamento mais frequente com funcionários. Nesta modalidade, o resultado é gerar um material chamado de lodo ativado.

O ETE na modalidade anaeróbia também apresenta suas vantagens e desvantagens. Sobre a área disponível, vai exigir uma área grande para receber o esgoto, sendo este o principal fator de desvantagem. Já as vantagens são que exige pouca mão de obra e poucos equipamentos para a funcionalidade. Nesta modalidade, há o uso de algas e bactérias que podem gerar tanto o gás como energia, como o biodiesel, e também gera o lodo quando a matéria orgânica se separa da água.

Note-se que nas modalidades aeróbica e anaeróbia ocorrerá a geração de lodo, que pode resultar no produto de fertilizante. Além disso, a obtenção de gás pode ser usado como fonte de energia, e a obtenção de algas pode ser usada para gerar biocombustíveis devido à oleosidade que possui.

Cada uma dessas submatérias geradas nas ETEs, citadas no parágrafo anterior, será vista individualmente adiante como uma fonte alternativa de renda, e assim, o objetivo é que essa renda reponha os custos de uma tarifa social ainda mais barata que a já aplicada para a parcela carente da população do Rio de Janeiro/RJ.

Quando se trata do município do Rio de Janeiro, observam-se as Estações de Tratamento de Esgotos já existentes, sendo elas a da Alegria e da Barra. Sobre a ETE da Alegria, assim é citada a forma de funcionamento no site da CEDAE:

A Estação Alegria utiliza o processo de lodos ativados, com câmaras seletoras iniciais, com digestão anaeróbia e desidratação mecânica do lodo por meio de centrífugas, dispondo das seguintes unidades principais:

- Grades grosseiras de limpeza mecanizada;
- Elevatória de esgoto bruto;
- Grades finas de limpeza mecanizada;
- Caixas de areia com limpeza mecanizada;
- Decantadores primários para remoção de sólidos e espuma;
- Sistema biológico de tratamento para degradação da matéria orgânica, com tanques de aeração e decantadores secundários mecanizados;
- Sistema de tratamento da fase sólida, para condicionamento e desidratação do lodo gerado;
- Laboratório;
- Centro de controle.

A estação da Alegria, para um entendimento facilitado, recebe o esgoto, que passa por diversas fases de limpeza, depois vai para decantadores onde possuem os agitadores para gerar o ar (aeróbio), seguindo então para os tanques de aeração onde é realizado o tratamento para degradar a matéria orgânica, passando por seguinte a fase onde separam o lodo do líquido e a partir de então fazem os testes para analisar se está em condições do devido descarte. Tal modelo de funcionamento e tipo de ETE são demonstrados pela foto abaixo, que foi retirada do site da própria CEDAE.



Figura 6 – ETE da Alegria no Rio de Janeiro (RJ).
Fonte: CEDAE, [s.d.].

No mesmo site do CEDAE, constata-se que a ETE da Barra da Tijuca foi projetada com as seguintes unidades: canais de entrada dos esgotos, gradeamento fino, desarenadores aerados, decantadores, elevatória de espuma, elevatória final, subestação principal, desidratação e secagem térmica de lodo, tratamento de odor, laboratório, chaminé de equilíbrio e centro de operações.

É evidente que, com o funcionamento das duas principais ETE do Rio de Janeiro, haverá a emissão de lodo, gás e biocombustível. O lodo é decorrente da matéria orgânica, o gás é resultado da ação dos micro-organismos e o biocombustível é proveniente das algas presentes nas estações.

No site da TPF Engenharia, em publicação de 03/03/2022, é esclarecido o funcionamento e a destinação final dos sólidos gerados pela ETE da Barra. Há estruturas para armazenamento temporário, deságue e secagem térmica dos sólidos. A representação da ETE da Barra pode ser encontrada na imagem abaixo, retirada do mesmo site da TPF Engenharia:



Figura 7 – ETE da Barra da Tijuca.
Fonte: TPF Engenharia, 2022.

Na ETE da Barra, o processo igualmente acaba gerando a emissão de lodo e gases, tanto que a matéria orgânica separada do líquido é secada de forma acondicionada, ou seja, tampada.

10

Preservação e sustentabilidade do funcionamento da ETE

Acerca do funcionamento de uma ETE, pode-se assim considerar que o seu planejamento deve estar de acordo com o objetivo maior que é a preservação da natureza, seguida da melhoria na qualidade de vida dos usuários.

Por outro lado, tem-se também a sustentabilidade que parte da premissa de poder utilizar sua própria produção para gerar energia, ou ainda em outra hipótese, é a instalação de placas solar para geração de energia suficiente para que a ETE não tenha outros custos mais elevados com energia elétrica para o seu funcionamento, além da realmente necessária.

A sustentabilidade foi assim descrita no *site* ETEs Sustentáveis:

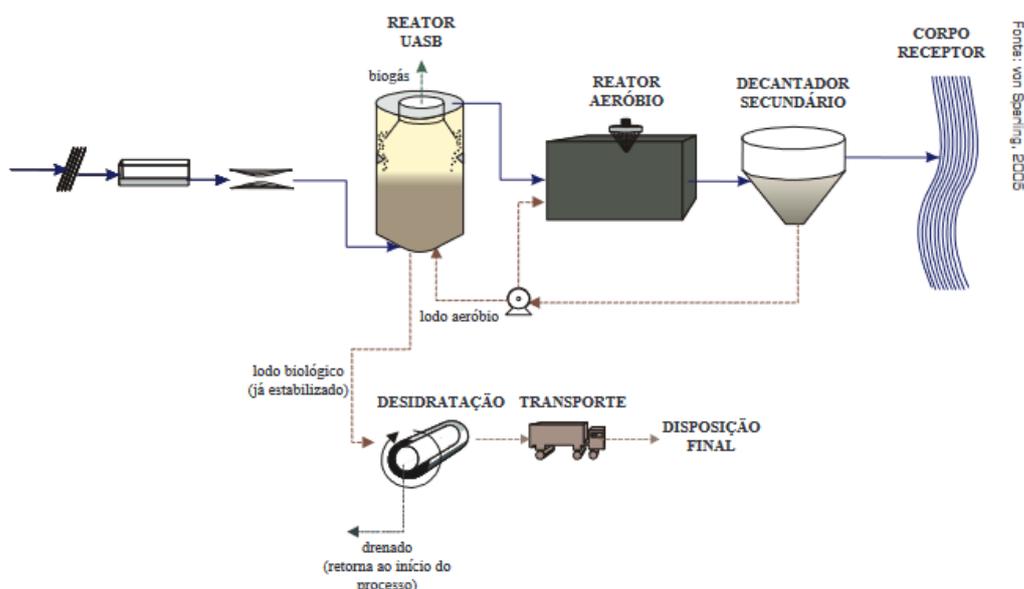
Sustentabilidade é um termo usado para definir ações e atividades humanas que visam suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações. A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável se amparam em três pilares principais: o pilar econômico, o pilar social e o pilar ambiental. Alinhado a esses pilares, o INCT ETEs Sustentáveis tem como objetivo, dentro do âmbito que permeia toda a cadeia do tratamento do esgoto sanitário, contribuir para manter a harmonia entre esses componentes, auxiliando na consolidação de boas práticas em todas as esferas associadas ao tratamento de esgoto sanitário. (ECOASSIST, 2020, [n.p.]).

Note-se que nos termos já propostos no decorrer deste estudo, a ETE se torna sustentável quando polui menos, ajuda na melhoria da qualidade de vida dos usuários e o seu gasto é cada vez menor para manter o seu funcionamento, sendo este o principal objetivo deste trabalho.

Uma das indicações deste autor é que no funcionamento da ETE de qualquer modalidade e em qualquer lugar que esteja implantada, se instale painéis solares para diminuir despesas com energia elétrica e se tornar mais econômica financeiramente e assim com um aumento na lucratividade, possa tornar a tarifa social ainda mais barata que a já aplicada de fato para as famílias carentes.

As consequências de uma ETE hoje mais sustentável é usar a modalidade de ETE por Reatores UASB, a qual não deixa de necessitar dos demais procedimentos aeróbios e anaeróbios, porém com o reator é mais indicado a

separar os produtos originados da ETE, quais sejam, o lodo, o gás e combustíveis e o remanescente retornará para os ciclos aeróbios ou anaeróbios para tratamento final que só então destinará o remanescente para devolver ao meio ambiente. A ilustração abaixo, retirada do *site* da ETEs Sustentáveis representa bem o processo quando se utiliza o reator UASB:



Reator UASB + lodos ativados

Figura 8 – Reator UASB.
Fonte: Acervo pessoal.

A modalidade acima, com o uso do Reator UASB deixa evidente a geração do Lodo final e ainda do biogás, bem como demonstra a necessidade do retorno do lodo para o início do procedimento para retirar ainda mais as impurezas e possibilitar o seu reuso na natureza ou um descarte apropriado minimizando ainda mais os impactos ambientais.

Visto acima sobre as possibilidades da sustentabilidade de uma ETE, adiante cita-se a possibilidade do uso da energia solar para dar o devido funcionamento e economicidade financeira das ETE, a exemplo do sistema de tratamento de esgoto de Mogi Mirim/SP, conforme cita-se abaixo:

A primeira Estação de Tratamento de Efluentes – ETE com energia solar do Brasil foi inaugurada nesta quinta-feira (25), em Mogi Mirim (SP). De acordo com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), o sistema

fotovoltaico utiliza 1.073 placas instaladas em telhados da usina e no estacionamento para reter os raios de sol. O projeto foi viabilizado pela concessionária de saneamento. De acordo com o presidente da empresa, Carlos Roberto Ferreira, os estudos para implantação do sistema fotovoltaico são “feitos há anos”. A ideia é que 30% da energia da usina seja gerada por essa tecnologia, o que equivale ao abastecimento de energia elétrica para 370 casas por ano (Strom Brasil, [s.d., n.p.]).

Evidente, diante do exposto que existe um projeto piloto em Mogi Mirim/SP, o que certamente servirá para a melhoria e ampliação da capacidade ao ser projetado para as demais ETEs que suportem tais implantações.

A sugestão de uso da energia solar tem várias vertentes que indicam este ser o melhor acerto, pois ao tempo que reduz o gasto com energia elétrica, também colabora para que a captação da energia elétrica que geralmente é de bacias hidrográficas em tempos de seca não aumente a necessidade de ligação ou aumento de potência de energia a ser gerado pelas termelétricas que são poluentes e geram um alto custo para o seu funcionamento.

Abaixo está a ETE de Mogi Mirim/SP com a geração de energia solar, retirada do *site* da Sanvale – Soluções Ambientais:



Figura 9 – ETE com energia solar – Mogi Mirim (SP).
Fonte: Sanvale, 2019.

A instalação de energia solar para o funcionamento da ETE deve acontecer com ainda mais frequência e os esforços devem ser cada vez maiores, pois o clima não tem colaborado muito a cada ano que passa, então quanto mais se preservar, mais se mantém a boa qualidade de vida das pessoas.

Já em outro *site* chamado “Portal Tratamento de Água” alguns pesquisadores se debruçaram sobre o tema da Energia Solar em estação de ETE e surgiram os seguintes apontamentos:

Além de maior eficiência no tratamento de efluentes, a utilização de energia solar nesse setor resulta em redução dos custos operacionais. Os estudos analisados pelos pesquisadores das duas instituições mineiras comparam a utilização de raios ultravioletas de fonte artificial e os captados naturalmente. No modo artificial, são utilizadas lâmpadas de vapor de mercúrio, que têm vida útil de 3 a 5 anos e duração de aproximadamente 20 mil horas. Quanto maior for a demanda de energia requerida para a descontaminação, menor duração terá a fonte artificial, o que incidirá em aumento do uso dessa fonte.

“Quanto maior a dose de UV requerida maior o custo energético, o que inviabiliza o tratamento para altas concentrações do contaminante em função dos fatores econômicos associados às dificuldades para penetração da energia incidente”, frisam os pesquisadores no estudo.

[...]

O sistema opera com sistema solar, com complementação pela rede externa, sem sistema de backup. Funciona assim: durante o dia, produz energia captada da luz do sol por meio de painéis fotovoltaicos e, à noite, utiliza energia da rede elétrica (Tratamento de água, 2017, [n.p.]).

Diante da citação acima, possível identificar que o sistema de energia solar é eficiente e renovável, pois ao tempo que reduz as despesas com energia elétrica, preserva o meio ambiente e o fim destinado dessa energia é para o tratamento do esgoto que também acaba diminuindo os impactos ambientais.

De toda sorte, a engenharia ambiental em todo o procedimento de instalação, adequação ou modificação em uma ETE é fundamental, porque o foco principal é preservar a natureza e as consequências são somente benéficas.

11

Resultados e discussão

Apresenta-se a seguir os dados levantados e a sua discussão. Vale recordar que se tratou de um levantamento bibliográfico, cujos descritores estão apontados na seção de “Metodologia”, apresentada na introdução deste trabalho.

Aplicando-se estes critérios, após a utilização dos descritores, chegou-se ao número de 12 pesquisas:

Quadro 3 – Pesquisas retornadas

ANO	AUTOR	TÍTULO	TIPO
2013	Osório, R.	Estudo do Potencial de Reuso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados	Tese
2013	Justi, J.	Modelo de Simulação para Análise para viabilidade da geração de energia elétrica em estações de tratamento de esgoto urbanas.	Dissertação
2014	Rosa, A. P.	Aproveitamento de biogás e lodo excedente de reatores UASB como fonte de energia renovável em estações de tratamento de esgoto	Tese
2014	Borges, N.	Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto	Tese
2015	Silva, T.	Utilização de biogás de estações de tratamento de esgoto para fins energéticos	Dissertação
2016	Cabral, C.	Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbicos tratando esgoto sanitário	Dissertação
2018	Cañote, S.	Caracterização da Biodigestão de Lodos UASB e de Lodos Ativados e ACV do Aproveitamento Energético do Biogás Resultante.	Dissertação
2018	Figueiredo, L. I.	Potencial energético de efluente em estação de tratamento de esgoto.	Dissertação
2019	Savi, V. G.	Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido na estação de tratamento de esgoto (ETE) Santa Luzia (Criciúma/SC)	Dissertação
2019	Sestrem, J.	Metodologia de análise de risco de investimento em sistemas de geração distribuída a partir de biogás produzido em estações de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico	Dissertação
2020	Maia, M. L.	Cotratamento de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico em reatores UASB – estudo da viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe	Dissertação
2023	Silva, R.	Autossuficiência energética em ETE: estudo de caso da aplicação de coagulante natural à base de tanino no tratamento primário	Dissertação

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Uma vez apresentados os dados levantados, pode-se partir para a análise e discussão das pesquisas apontadas.

A primeira delas, a de **Osório (2013)**, aborda a proposta de recuperação de efluentes domésticos para reuso não potável em indústrias localizadas na Região Metropolitana de Curitiba, no sul do Brasil. Para isso, foram realizados inventários das demandas potenciais de águas de reuso que poderiam substituir a utilização de águas de abastecimento público e de captação privada em diversos segmentos industriais.

Por meio da análise de bancos de dados da companhia de saneamento local, do Instituto das Águas do Paraná e de um levantamento empreendido em indústrias alvo, chegou-se à conclusão de que há um alto potencial para consumo de água de reuso pelas indústrias inventariadas, correspondendo a aproximadamente 80% do volume de água consumida pelo polo industrial da região estudada. Além disso, mais de 45% das unidades fabris situam-se a uma distância de até 5 km da estação de tratamento de esgoto (ETE), o que reforça a viabilidade de fornecimento de água de reuso produzida na mesma ETE (Osório, 2013).

Os setores industriais, afirma Osório (2013), que apresentam maior potencial de reuso de água na região são os segmentos químico e energético. O consumo majoritário de água nessas indústrias ocorre em sistemas de resfriamento, representando quase 50% do volume total utilizado pelas indústrias químicas. Nos setores de energia e madeira, a demanda de água para os sistemas de geração de vapor ultrapassa 80% do volume total consumido por indústrias desse tipo.

Considerando o escopo e os critérios da pesquisa, estima-se que o volume de água potencialmente reutilizável no polo industrial seja próximo de 800.000 m³ por mês, o que poderia representar uma conservação de mananciais. Esse volume seria suficiente para abastecer uma cidade com mais de 120.000 habitantes, levando em consideração um consumo per capita de 220 litros por habitante por dia (Osório, 2013).

A autora apresenta, ainda, três alternativas de tratamento para a recuperação da água de reuso: sistema composto por lodos ativados com aeração prolongada e desinfecção com ultravioleta, sistema de coagulação química e filtração direta

com desinfecção por processos oxidativos avançados, e sistema composto por biorreator com membranas, visando a produção de água de reuso industrial.

De acordo com Osório (2013), o primeiro destes sistemas envolve o tratamento da água por meio de lodos ativados, um processo biológico no qual microrganismos são utilizados para remover contaminantes orgânicos da água. A aeração prolongada garante que os microrganismos tenham oxigênio suficiente para degradar os poluentes de forma eficaz. Após o processo biológico, a água é desinfetada utilizando luz ultravioleta, um método eficaz para eliminar microrganismos patogênicos sem a necessidade de produtos químicos.

Já a segunda alternativa, afirma a autora (Osório, 2013), a água bruta passa por um processo de coagulação química, no qual produtos químicos são adicionados para aglomerar as impurezas presentes na água, facilitando sua remoção. Em seguida, a água é submetida à filtração direta, onde é passada através de um meio filtrante para remover partículas suspensas e sólidos em suspensão. Por fim, a água é desinfetada por meio de processos oxidativos avançados, como ozonização ou fotocatalise, que garantem a eliminação completa de microrganismos e compostos orgânicos persistentes.

A terceira alternativa utiliza um biorreator, um tanque onde microrganismos especializados são cultivados para decompor contaminantes específicos na água. A água contaminada é introduzida no biorreator, onde os microrganismos realizam processos biológicos para remover poluentes específicos. Em seguida, a água tratada passa por membranas de ultrafiltração ou nanofiltração, que retêm partículas e contaminantes remanescentes, produzindo assim água de reuso industrial de alta qualidade, adequada para aplicações específicas na indústria (Osório, 2013).

Justi (2013) afirma que a geração de energia a partir das estações de tratamento de esgoto tem se mostrado uma alternativa promissora no cenário energético atual. Com o crescimento populacional e o aumento do apelo ambiental, as estações de tratamento de esgoto têm se tornado uma fonte potencial de energia a ser explorada, principalmente sob a ótica da geração distribuída.

Além dos benefícios ambientais, como a redução da emissão de gases de efeito estufa, a utilização das estações de tratamento de esgoto para geração de energia elétrica também contribui para a diversificação da matriz elétrica

brasileira, que atualmente é predominantemente renovável. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, houve um considerável aumento no número de municípios com rede coletora de esgoto nas grandes regiões do Brasil, sendo a região Centro-Oeste um exemplo significativo, que saltou de 17,9% para 28,3% entre 2000 e 2008 (Justi, 2013).

Para o autor, a Resolução Normativa 482/12, estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), também teve um papel importante no ambiente de geração de energia elétrica para os investidores das empresas de saneamento básico. Essa resolução facilitou a entrada de novos investidores no setor, conhecidos como microgeradores ou minigeradores de energia elétrica, promovendo a geração distribuída e incentivando a utilização de fontes renováveis.

Nesse contexto, Justi (2013) desenvolveu um modelo de simulação que permite analisar o processo de implantação de um sistema de geração de energia elétrica em estações de tratamento de esgoto urbanas, levando em consideração o potencial de geração de biogás por meio de biodigestores modelo RAFA. Esse modelo de simulação, baseado na técnica de Dinâmica de Sistemas, utiliza parâmetros de entrada das estações para realizar a análise econômica e avaliar a viabilidade da implantação do sistema de geração de energia elétrica. O modelo citado é focado na utilização do biogás que é produzido durante tratamento de esgoto. Este biogás pode ser convertido em energia elétrica, proporcionando uma solução sustentável e eficiente de geração de sua própria energia para sua funcionalidade.

Justi (2013) também realizou um estudo de caso em ETEs de Dourados, Mato Grosso do Sul, sinalizou que o investimento nesse tipo de empreendimento pode ser viável, além de gerar benefícios ambientais e promover a inovação tecnológica. Ao produzir energia elétrica a partir do biogás gerado no tratamento de esgoto, as empresas de saneamento podem reduzir seus custos com energia e contribuir para a sustentabilidade ambiental, diminuindo o impacto ambiental causado pela geração de energia convencional. Em um destes estudos realizados segundo Justi, a Ete Ipé Dourados, está desenvolvendo um projeto para uma grande produção de biogás e com essa iniciativa o compromisso com a sustentabilidade e inovação com a energia renovável irá mudar o patamar de como

seguir com uma energia limpa que pode ser aplicada em várias ETE's do estado de Mato Grosso do Sul.

Para **Rosa (2013)**, a geração de energia a partir das estações de tratamento de esgoto tem sido objeto de estudo e pesquisa, visando aproveitar os subprodutos biogás e lodo excedente como fonte de energia renovável.

O primeiro objetivo deste autor consistiu em realizar uma revisão de literatura e visitar as estações de tratamento de esgoto na Europa que promovem a recuperação energética. Já o segundo objetivo foi desenvolvido na ETE Laboreaux, em Itabira-MG, onde foi feita a caracterização do potencial energético do lodo e do biogás, além da proposta de determinação de balanços de massa e energia. Também foram calculadas as reduções nas emissões de gases de efeito estufa em dois cenários: uso prioritário do biogás em câmara de combustão e uso do excedente para a geração de eletricidade em motor de combustão interna, e uso prioritário do biogás em motor de combustão interna visando a geração de eletricidade e o aproveitamento do calor dos gases de exaustão do motor para a secagem térmica de lodo.

Para Rosa (2013), os resultados da pesquisa mostraram que o lodo de esgoto apresenta viabilidade técnica e ambiental como fonte de energia, especialmente quando combinado com o biogás gerado nos reatores UASB. Além disso, os processos térmicos, como a pirólise, gaseificação e combustão, são alternativas potencialmente mais vantajosas em estações de tratamento de esgoto de maior porte, que possuem elevados gastos de transporte e destinação final. O aproveitamento energético do lodo, afirma Rosa (2013), seja de forma individual ou em combinação com outros subprodutos, como o biogás, também pode garantir a secagem do próprio lodo e favorecer o uso dos processos térmicos na realidade brasileira.

Na ETE Laboreaux, prossegue o mesmo autor, foi constatado que o potencial energético do biogás e do lodo gerado nos reatores UASB foi de 10.962 MJ.d⁻¹ e 7.518 MJ.d⁻¹, respectivamente.

O pesquisador também desenvolveu um modelo matemático para estimar o balanço energético em estações de tratamento de esgoto com o uso dos subprodutos do tratamento anaeróbio como fonte de energia. Os resultados

indicaram que o modelo permitiu uma estimativa mais realista da produção de lodo e do potencial energético total nas ETEs (Rosa, 2013).

Segundo **Borges (2014)**, os sólidos grosseiros, sedimentáveis e flutuantes são normalmente dispostos em aterros sanitários e lixões, sem considerar seu potencial de utilização, redução, recuperação e impactos ambientais. No entanto, essa prática tem se mostrado problemática em relação ao manuseio, tratamento e destinação final desses resíduos.

Para a autora, com o objetivo de demonstrar a potencialidade do aproveitamento desses resíduos, a sua pesquisa avaliou a ETE Monjolinho em São Carlos-SP, que tem capacidade para atender 258.000 habitantes. Foram estudados os resíduos removidos nos gradeamentos grosseiro e fino, nos desarenadores e os óleos e graxas removidos, com o intuito de utilizá-los como fonte de energia, matéria-prima e insumo para produção de biocombustível, respectivamente. Também foi avaliada a degradação aeróbia e anaeróbia desses materiais. O biocombustível se engloba em vários compostos, como ETANOL, BIODIESEL, BIOGÁS.

- Etanol insumo cana de açúcar, convertido em biocombustível através da fermentação
- Biodiesel insumos oriundos de óleos vegetais, gordura animal e resíduos de óleo de cozinha usado, convertido em biocombustível através da transesterificação.
- Biogás insumos de resíduos orgânicos, dejetos animais, resíduos industriais, convertido em biocombustível através de digestão anaeróbia.

Os resíduos gerados por uma ETE, são os seguintes:

Biogás: Produzido durante a digestão anaeróbia do lodo de esgoto. O biogás é composto principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), e pode ser utilizado para gerar eletricidade e calor¹.

Lodo de Esgoto: Além de ser uma fonte de biogás, o lodo pode ser tratado e utilizado como biofertilizante ou incinerado para gerar energia térmica².

Resíduos Orgânicos: Resíduos sólidos orgânicos capturados durante o processo de tratamento podem ser compostados ou digeridos anaerobiamente para produzir biogás³.

Água Residual: A água tratada pode ser reutilizada em processos industriais ou agrícolas, reduzindo a demanda por água potável e economizando energia necessária para o bombeamento e tratamento de água⁴.

Esses resíduos são aproveitados para melhorar a eficiência energética das ETEs e promover a sustentabilidade ambiental.

Os resultados mostraram a potencialidade da geração de energia a partir dos resíduos removidos nos gradeamentos, devido aos elevados valores de poder calorífico inferior, que foram de 4.837 kcal.kg⁻¹ para resíduos do gradeamento grosseiro e 5.059 kcal.kg⁻¹ para resíduos do gradeamento fino. Além disso, a geração de cinzas foi baixa, o que é vantajoso em termos ambientais. Isso indica que esses resíduos podem ser utilizados como combustível (Borges, 2014).

Quanto ao material sedimentável, afirma Borges (2014), retido nos desarenadores, verificou-se a viabilidade técnica, econômica e ambiental de utilizá-lo como agregado para argamassa e concreto não estrutural na construção civil, desde que seja submetido ao procedimento de limpeza e secagem. Isso representa uma forma de aproveitar esse material e evitar sua disposição em aterros sanitários. Portanto, a geração de energia a partir das estações de tratamento de esgoto por meio do aproveitamento dos resíduos removidos no tratamento preliminar apresenta diversas possibilidades de utilização desses materiais, contribuindo para a redução do impacto ambiental e a gestão mais eficiente das estações.

Já o trabalho de **Silva (2015)** apresenta a possibilidade de geração de energia a partir das estações de tratamento de esgoto, utilizando o biogás produzido durante o processo de tratamento anaeróbio. O biogás é composto principalmente por metano, um gás de médio poder energético e também um gás indutor de efeito estufa.

A dissertação da autora teve como objetivo estudar as perspectivas concretas de geração de eletricidade a partir do biogás, considerando a atualização dos marcos regulatórios brasileiros e o levantamento experimental das taxas de produção de biogás em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Para isso,

foram realizadas medições em tempo real das taxas de produção de biogás e metano em uma ETE de grande porte, com 16 reatores UASB, alimentados com esgotos domésticos (Silva, 2015).

Os resultados obtidos, segundo Silva (2015), mostraram uma grande variação na carga orgânica recebida pela ETE e na vazão de biogás, que pode ser influenciada negativamente por eventos de chuva. Além disso, as quantidades médias de vazão de biogás estimadas em estudos foram maiores do que aquelas registradas a partir de medições de campo, podendo chegar até 10 vezes maior. No entanto, a potência elétrica máxima calculada, de 233 kW, mostrou-se próxima da autossuficiência da ETE, o que indica que é possível obter energia suficiente para o funcionamento da estação.

Quanto à pesquisa de **Cabral (2016)**, ressalta-se que o uso do biogás gerado no tratamento de efluentes líquidos em reatores anaeróbios tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é uma prática que se enquadra nessa proposta de boa prática em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

Para que haja uma melhoria na eficiência energética e aproveitamento do biogás em sistemas de tratamento com reator UASB, afirma a autora, é necessário um maior conhecimento sobre o comportamento da produção de biogás, bem como medidas no âmbito construtivo e operacional. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de geração de biogás para fins energéticos em reatores UASB/RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fixo) em escala plena, a partir de medições realizadas em seis estações de tratamento de esgoto ao longo de um ano.

Os resultados mostraram que a concentração média de metano nos reatores UASB variou de 70% a 80%, enquanto o CO₂ variou de 6% a 12% e o H₂S de 1300 a 2100 ppm. Essas concentrações não apresentaram grandes variações ao longo do ano. Quanto à vazão de biogás, esta teve um comportamento periódico e variável, dependendo das condições operacionais, apresentando redução após eventos significativos de chuva.

No geral, afirma a autora (Cabral, 2016), os reatores com boa vedação alcançaram valores de produção específica de biogás de 17 l/hab.d (litros por habitante por dia). A geração de energia elétrica específica para esse caso foi de

17,8 kWh/hab.ano. No entanto, as demais estações apresentaram valores inferiores devido a maiores perdas de biogás.

Já a pesquisa de **Cañote (2018)** avaliou o potencial de produção de biogás por meio da digestão anaeróbia de lodos de reatores UASB e lodos ativados oriundos de duas estações de tratamento de esgoto na cidade de Itajubá, MG. A análise dos dados obtidos a partir de análises laboratoriais das amostras de lodos permitiu verificar a redução considerável de parâmetros físicos após a biodigestão.

Os resultados mostraram que o rendimento de metano nas amostras de lodos UASB foi de 0,0046 Nm³ CH₄/kg SV, enquanto nas amostras de lodos ativados foi de 0,0019 Nm³ CH₄/kg SV. Com base nesses resultados, foi possível calcular a quantidade de energia elétrica gerada a partir do biogás. No caso da ETE Copasa, a geração foi de 1014,46 kWh.ano⁻¹, equivalente a 1,014 MWh.ano⁻¹. Já na ETE Fania, o valor da energia elétrica foi baixo devido à baixa vazão de lodo de esgoto gerada pela estação (Cañote, 2018).

A viabilidade econômica também foi avaliada, afirma a autora (Cañote, 2018), e verificou-se que a ETE Fania contribuiria com uma economia mensal de R\$2.162,43 devido à geração de biogás. Já na ETE Copasa, a potência elétrica disponível mínima de 5 kW resultaria em uma energia elétrica de 18870,84 kWh.ano⁻¹, equivalente a 18,87 MWh.ano⁻¹. No entanto, considerando um período de 15 anos, a análise econômica mostrou que o aproveitamento da biomassa do modelo proposto não seria viável.

Além disso, foi realizada a avaliação do ciclo de vida dos lodos em estudo, comparando três cenários diferentes: destinação para aterro sanitário, geração de biogás e energia elétrica, e uso do lodo como fertilizante agrícola. Verificou-se que o cenário B, de geração de biogás e energia elétrica, foi o mais factível para os lodos UASB, apresentando melhor desempenho em sete das onze categorias analisadas. Já para os lodos ativados, o cenário C, de uso do lodo como fertilizante agrícola, apresentou melhor desempenho em oito das onze categorias (Cañote, 2018).

O trabalho de **Figueiredo (2018)** discute a possibilidade de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em estações de tratamento de esgoto, utilizando a ETE Norte/Palmas-TO como exemplo. Através de modelos matemáticos teóricos, foi estimado um volume de biogás de 558.232,30 m³ por

ano, com uma concentração de 70% de metano, o que corresponde a 390.762,61 m³ por ano. Esse volume convertido em potencial elétrico resultou em 75 kW, equivalente a 32,8% da demanda de energia elétrica da ETE.

A análise de viabilidade econômica considerou dois cenários: com e sem a venda de créditos de carbono.

Ambos os casos mostraram viabilidade financeira, porém, no caso da venda de créditos de carbono, os indicadores financeiros foram mais atraentes, mesmo considerando o alto investimento na implantação de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Isso pode ser explicado pelo fato de que a venda de créditos de carbono possibilita uma fonte adicional de receita para o projeto, aumentando sua rentabilidade (Figueiredo, 2018).

A geração de energia a partir de estações de tratamento de esgoto apresenta várias vantagens. Além de contribuir para a redução do impacto ambiental do tratamento de esgoto, ao aproveitar o biogás, que é um subproduto do processo de digestão anaeróbia, como fonte de energia renovável, também é possível reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis, como o petróleo e o carvão. Além disso, a venda de créditos de carbono pode gerar receita adicional para as estações de tratamento de esgoto, o que pode ajudar a financiar a implantação de projetos de MDL (Figueiredo, 2018).

O trabalho de **Savi (2019)** parte da ideia de que a utilização de estações de tratamento de esgoto como uma alternativa sustentável para a geração de energia tem se mostrado cada vez mais viável e eficiente. Além de tratar os esgotos sanitários, evitando a contaminação de corpos d'água e a disseminação de doenças, essas estações podem produzir biogás a partir da decomposição da matéria orgânica presente no esgoto. O biogás, por sua vez, pode ser utilizado como fonte de energia, substituindo combustíveis fósseis e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa.

A pesquisa realizada na ETE Santa Luzia demonstrou que o processo de biodigestão anaeróbica na estação ocorre em condições favoráveis, com pH próximo da neutralidade e temperaturas mesofílicas. Isso possibilita a produção de biogás de forma eficiente. Além disso, os resultados mostraram que a geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na ETE foi capaz de suprir grande

parte do consumo da própria estação, gerando uma economia significativa (Savi, 2019).

Além dos benefícios econômicos, afirma o mesmo autor, a utilização do biogás para a geração de energia elétrica na ETE Santa Luzia também apresenta vantagens ambientais. A estimativa de redução das emissões de CO₂ mostra que o aproveitamento do biogás pode contribuir para a redução dos gases de efeito estufa e, assim, mitigar os impactos do setor de saneamento no aquecimento global.

Quanto ao trabalho de **Sestrem (2019)**, este discute a possibilidade de geração de energia elétrica a partir das estações de tratamento de esgoto como uma alternativa sustentável. O setor de saneamento é considerado eletro-intensivo, o que significa que demanda uma grande quantidade de energia elétrica para operar. Nesse sentido, a recuperação energética do biogás produzido no tratamento anaeróbico do esgoto surge como uma alternativa viável para a promoção da sustentabilidade.

Para respaldar investimentos prudentes nessa área, é necessário realizar análises de viabilidade técnico-econômica e de risco. O trabalho apresenta uma metodologia probabilística que combina a estimativa da produção de biogás, a geração distribuída de energia elétrica a partir do biogás, a avaliação de valor do investimento em termos de risco, a análise de sensibilidade e a simulação de Monte Carlo (Sestrem, 2019).

A metodologia proposta por Sestrem (2019) utiliza uma planilha que converte os dados de vazão e demanda química de oxigênio (DQO) do esgoto em taxas de produção de biogás e metano. Essa conversão considera as rotas de conversão de DQO em reatores anaeróbios e as perdas inerentes ao processo. A partir das taxas de produção de metano, é estimada a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada anualmente em uma estação de tratamento de esgoto. Em seguida, é utilizada a simulação de Monte Carlo para amostrar os valores de entrada da função de conversão e simular uma distribuição representativa da produção de metano e do custo evitado com energia elétrica na estação de tratamento de esgoto a partir da conversão do biogás. Para estimar o custo evitado, é realizada uma análise utilizando as modalidades das bandeiras tarifárias, baseada em seu histórico de utilização.

Os resultados obtidos pelo autor indicam que a geração distribuída de energia a partir do biogás proveniente das estações de tratamento de esgoto possui uma margem de risco aceitável, justificando o investimento em três ETEs de médio porte analisadas.

A pesquisa de **Maia (2020)** informa que a geração de energia a partir das estações de tratamento de esgoto tem se mostrado uma alternativa sustentável e viável em diversos países, como Estados Unidos, Europa e Japão. No Brasil, essa prática também é utilizada, principalmente através dos reatores de digestão anaeróbia (UASB), que produzem biogás a partir do tratamento do esgoto. No entanto, o Estado de Sergipe ainda envia seu lixiviado de aterro sanitário para uma central de tratamento de efluentes na Bahia.

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de biogás nas ETEs de Sergipe, essa pesquisa utilizou dados de caracterização do lixiviado produzido no aterro sanitário e dos esgotos brutos das estações avaliadas. Foram avaliadas proporções de adição de lixiviado entre 0,5% e 5% ao esgoto sanitário, utilizando o software ProBio 1.0 para estimar a geração de biogás e o potencial energético de cada estação (Maia, 2020).

Os resultados da autora mostraram que, mesmo com a adição do lixiviado, a produção de biogás ainda não é suficiente para atender as próprias demandas energéticas diárias das ETEs. Portanto, a melhor opção seria injetar a energia produzida à rede da concessionária.

Por fim a pesquisa de **Silva (2023)** discute a possibilidade de utilizar as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) como usinas para a recuperação de energia, visando atingir a auto sustentabilidade energética. Uma das abordagens sugeridas é aumentar a quantidade de lodo retido no tratamento primário, o que resulta em menor gasto de energia com aeração para sistemas de lodos ativados e aumenta a carga do lodo a ser digerido pelos digestores anaeróbios, proporcionando maior geração de biogás.

Para avaliar essa possibilidade, Silva (2023) analisou o efeito da aplicação do coagulante natural Tanfloc SG no tratamento primário de um sistema de lodos ativados convencional. Verificou-se que o uso do coagulante aumentou a eficiência na remoção de sólidos suspensos, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio do efluente no decantador primário. Além disso,

foi analisado o impacto da aplicação do coagulante natural no consumo energético com aeração do sistema de lodos ativados. Os resultados mostraram que o cenário com Tanfloc SG alcançou 46% do consumo energético com aeração, enquanto o cenário sem o coagulante atendeu a apenas 38%. Isso indica que o uso do coagulante reduz o déficit energético em 36%.

Em termos de economia de custos, afirma Silva (2023), o estudo revelou que a condição de bandeira tarifária mais desfavorável resulta em 52% de economia no cenário sem o coagulante, enquanto no cenário com Tanfloc SG a economia é de 58%. Portanto, percebe-se que a utilização do coagulante reduz o consumo de energia com aeração e aumenta a produção de energia elétrica simultaneamente, tornando a ETE mais próxima da autossuficiência energética.

12 Conclusões

Neste estudo, foi realizado uma revisão bibliográfica sobre a geração de energia elétrica a partir de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) como prática de desenvolvimento sustentável em estudos produzidos entre os anos de 2013 e 2023.

Ao considerar a possibilidade de construir ETEs em lugares de alta vulnerabilidade social, como o Complexo do Alemão e da Maré, à luz da literatura pesquisada, algumas considerações finais podem ser feitas.

Primeiramente, é importante ressaltar que a construção de ETEs nessas regiões de alta vulnerabilidade social pode trazer benefícios significativos para a população local. Além de contribuir para a preservação do meio ambiente, o tratamento de esgoto proporciona melhorias na saúde pública, reduzindo o risco de contaminação por doenças relacionadas ao saneamento básico precário.

Ademais, a geração de energia elétrica a partir das ETEs pode oferecer uma oportunidade de desenvolvimento econômico e social para essas comunidades. A implementação desse tipo de tecnologia sustentável pode gerar empregos locais, promovendo a inclusão social e o fortalecimento da economia local.

Porém, é necessário considerar que a construção de ETEs em regiões de alta vulnerabilidade social requer um planejamento e uma abordagem cuidadosa. É fundamental envolver a comunidade local desde o início do processo, garantindo sua participação ativa e respeitando suas necessidades e demandas.

Além disso, é importante realizar estudos de viabilidade técnica e financeira para verificar a sustentabilidade do projeto e identificar possíveis obstáculos. Questões como disponibilidade de recursos, capacidade de infraestrutura e aspectos legais devem ser devidamente analisadas.

Ora, é fundamental destacar a importância do investimento em políticas públicas que visem a inclusão social e o desenvolvimento sustentável nessas regiões. Além da construção de ETEs, é necessário investir em melhorias de infraestrutura, educação ambiental e acesso a serviços básicos, como saúde e educação.

Para concluir, a construção de Estações de Tratamento de Efluentes em lugares de alta vulnerabilidade social, como o Complexo do Alemão e da Maré, pode ser uma prática de desenvolvimento sustentável que traz benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a comunidade local.

Referências Bibliográficas

ACSELRAD, H. Lógicas e práticas sócio-políticas que ampliam a vulnerabilidade social: o papel da pesquisa. II SEMINÁRIO NACIONAL DE PSICOLOGIA EM EMERGÊNCIAS E DESASTRES, Brasília. **Anais...** Brasília: Conselho Federal de Psicologia, 2011. p. 1-7.

ÁGUAS DO RIO. **Quem somos**. Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <<https://aguasdoriorio.com.br/quem-somos/>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

BAEK, S. et al. The most downloaded and most cited articles in radiology journals: a comparative bibliometric analysis. **European Radiology**, v. 28, n. 11, p. 4832-4838, 2018.

BORGES, N. B. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. São Paulo, 2024. 238 p. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **ODS 6 no Brasil: Visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/ods6/ods6.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 1. **Diário Oficial da União**, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1. Brasília, 1986.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em: 29 mar. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília: FUNASA, 2015.

BRITTO, A. L.; ARAÚJO, P. F. **A tarifa social nos serviços de água e esgotos no Rio de Janeiro**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2020/09/A-tarifa-social-nos-servi%C3%A7os-de-%C3%A1gua-e-esgotos-no-Rio-de-Janeiro.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

BRITTO, A. L. N.; QUINTSLR, S. Políticas e programas para esgotamento sanitário na metrópole do Rio de Janeiro: um olhar na perspectiva das desigualdades ambientais. **Caderno Metropolitano**. São Paulo. v. 22, n. 48, 2018.

CAÑOTE, S. **Caracterização da Biodigestão de Lodos UASB e de Lodos Ativado e ACV do Aproveitamento Energético do Biogás Resultante**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2018.

CARCARÁ, B.; AMARAL, M.; SILVA, R. **Impactos Ambientais do Saneamento Básico no Brasil**. Salvador, 2019.

CEDAE. **Estações de Tratamento de Alegria e Barra: a Estação Alegria**. Rio de Janeiro, [s.d.]. Disponível em: <<https://cedae.com.br/ete>>. Acesso em: 29 de mar. 2024.

CHAVES, D.; CASTELLO, R. N. O desenvolvimento sustentável e a responsabilidade social empresarial. **Gestão e Tecnologia para a Competitividade**, out., 2023. Disponível: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/16318637.pdf>>. Acesso em: 29 de mar. 2024.

ECOASSIST. **Sustentabilidade: por que é a palavra da década?** [s.l.], 7 jan. 2020. Disponível em: <<https://ecoassist.com.br/sustentabilidade-a-palavra-da-decada/#:~:text=Etimologicamente%2C%20a%20palavra%20sustent%20%C3%A1vel%20vem,o%20futuro%20das%20pr%C3%B3ximas%20gera%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

FARIA, A. A. **Análise do potencial de reuso de água para fins não potáveis a partir de efluente tratado em estações de tratamento de esgoto da Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2020. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

FIGUEIREDO, L. R. **Potencial energético de efluente em estação de tratamento de esgoto**. Ponta Grossa, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

GALVÃO, T. F. et al. Revisões sistemáticas de literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 23, n. 1, mar. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742014000100018>>. Acesso em 29 de mar. 2024.

GOMES, S. L. **Engenharia ambiental e saúde coletiva**. Salvador: EDUFBA, 1995.

JUSTI, J. **Modelo de Simulação para Análise para viabilidade da geração de energia elétrica em estações de tratamento de esgoto urbanas**. Campo Grande, 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Engenharia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

LEITE, C. H. et al. Novo Marco Legal de Saneamento Básico: alterações e perspectivas. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 27, n. 5, set./out., 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/c9q3cL4bMT4L4KP7zCMxzCP/?format=pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

MAIA, L. M. H. **Cotratamento de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico em reatores UASB**: estudo da viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe. Aracaju, 2020. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Sergipe.

MINAYO, M. C. **O desafio do conhecimento**. São Paulo: HUCITEC, 2024.

MUELLER, C. **Os Economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: UNB/FINATC, 2007.

OSÓRIO, R. C. F. **Estudo do Potencial de Reuso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados**. Curitiba, 2023. Tese (Doutorado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná.

PEROVANO, T.; FORMIGONI, L. F. **Geração de Energia a partir dos Subprodutos do Tratamento de Esgotos Sanitários**. Vitória, 2011. 101 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal do Espírito Santo.

ROSA, A. P. **Aproveitamento de biogás e lodo excedente de reatores UASB como fonte de energia renovável em estações de tratamento de esgoto**. Belo Horizonte, 2013. 172 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o século XXI**: Desenvolvimento e Meio Ambiente. São Paulo: Studio Nobel; Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 1993.

SANTOS, I. F. S. et al. Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 505-514, 2016.

SANVALE. **Brasil ganha primeira ETE com energia solar**. 2019. Disponível em: <<https://sanvale.com/brasil-ete-com-energia-solar/>>. Acesso em: 26 jan. 2024.

SAVI, V. G. **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido na estação de tratamento de esgoto (ETE) Santa Luzia (Criciúma/SC)**. Araranguá, 2019. 92 p. Dissertação (Mestrado em Energia e Sustentabilidade) – Programa de Pós-Graduação em Energia e sustentabilidade, Universidade Federal de Santa Catarina.

SESTREM, J. **Metodologia de análise de risco de investimento em sistemas de geração distribuída a partir de biogás produzido em estações de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico**. Curitiba, 2019. 184 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) – Instituto de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, R. **Autossuficiência energética em ETE: estudo de caso da aplicação de coagulante natural à base de tanino no tratamento primário**. Limeira, 2023. 129 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, T. C. F. **Utilização de biogás de estações de tratamento de esgoto para fins energéticos**. São Paulo, 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo.

SNIS - Sistema nacional de informações sobre saneamento básico. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

STROM Brasil. **Primeira estação de esgoto com uso de energia solar é inaugurada no Brasil**. [s.l., s.d.]. Disponível em: <<https://strombrasil.com.br/blog/primeira-estacao-de-esgoto-com-uso-de-energia-solar-e-inauguradanobrasil.html#:~:text=INAUGURADA%20NO%20BRASIL,PRIMEIRA%20ESTA%C3%87%C3%83O%20DE%20ESGOTO%20COM%20USO%20DE%20ENERGIA%20SOLAR%20%C3%89,Mirim%2C%20estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

TOZONI-REIS, M. F. **Metodologia da Pesquisa Científica**. Curitiba: IESDE, 2009.

TPF Engenharia. **Estação de tratamento de esgoto da Barra da Tijuca recebe melhorias através de projeto da TPF Engenharia**. Recife, 3 mar. 2022. Disponível em: <<https://www.tpfengenharia.com.br/noticia/tpf-engenharia-realiza-projeto-de-melhoramento-da-estacao-de-tratamento-de-esgoto-da-barra-da-tijuca/>>. Acesso em: 23 mar. 2024.

TRATAMENTO de água. **Energia solar para tratamento de efluentes. Sim, é possível!** São Paulo, 10 jul. 2017. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/energia-solar-efluentes/>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

ÚLTIMA HORA online. **Tarifa Social de fornecimento de água e manutenção da rede de esgoto pode ser garantida por lei**. Rio de Janeiro, 8 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.ultimahoraonline.com.br/noticia/tarifa-social-de-fornecimento-de-agua-e-manutencao-da-rede-de-esgoto-pode-ser-garantida-por-lei>>. Acesso em: 29 mar. 2024.

VILA NOVA, J.; TENÓRIO, A. **Acesso à Água e Saneamento no Brasil: Realidades e Perspectivas**. Maceió: UFAL, 2019.

VOZ DAS COMUNIDADES. **Falta de saneamento Básico assombra moradores do Alemão**. 2013. Disponível em: <[https://vozdascomunidades.com.br/favelas/complexo-do-alemao/falta-de-saneamento-basico-assombra-moradores-do-alemao />](https://vozdascomunidades.com.br/favelas/complexo-do-alemao/falta-de-saneamento-basico-assombra-moradores-do-alemao/). Acesso em: 13 ago. 2023.