**FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO
MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION SANEAMENTO AMBIENTAL**

Yasmin Mayara Silva

**ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SUSTENTÁVEIS:
REAPROVEITAMENTO DE LODO, EFLUENTE E BIOGÁS**

São Paulo

2021

Yasmin Mayara Silva

**ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SUSTENTÁVEIS:
REAPROVEITAMENTO DE LODO, EFLUENTE E BIOGÁS**

Artigo científico apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista em *Master in Business Administration* Saneamento Ambiental, sob a orientação da professora Dra. Natasha Bachini Pereira.

São Paulo

2021

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca FESPSP

628.3

S586e Silva, Yasmin Mayara.

Estações de tratamento de esgoto sustentáveis :
reaproveitamento de lodo, efluente e biogás / Yasmin Mayara
Silva. – 2021.

30 p. ; 30 cm.

Orientadora: Professora Dra. Natasha Bachini.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização: MBA em
Saneamento Ambiental) – Fundação Escola de Sociologia e
Política de São Paulo.

Bibliografia: p. 26-30.

1. Tratamento de esgoto. 2. Lodo. 3. Biogás. 4. Efluente. 5.
Sustentabilidade. I. Pereira, Natasha Bachini. II. Título.

CDD 23. : Tratamento de esgoto e disposição final 628.3
Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724

Yasmin Mayara Silva

Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis: Reaproveitamento de lodo, efluente e biogás

Artigo científico apresentado à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista em *Master in Business Administration* Saneamento Ambiental, sob a orientação da professora Dra. Natasha Bachini Pereira.

Data de aprovação:

_____/_____/_____.

Banca examinadora:

Nome do (a) professor (a), titulação,

Instituição e assinatura.

Nome do (a) professor (a), titulação,

Instituição e assinatura.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à SABESP por me conceder a oportunidade de realizar este curso, à minha família e amigos pelo apoio, aos professores, orientadores e toda equipe da FESPSP pela imensa dedicação e a todos que direta ou indiretamente contribuíram comigo nesta jornada.

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) são instalações essenciais para a preservação do meio ambiente, ao transformar o esgoto bruto coletado em efluente tratado. Além do efluente líquido, as ETEs podem gerar também lodo e biogás, que na visão tradicional, representam passivos ambientais e custos expressivos na operação de uma estação. Porém, se considerados como subprodutos e não como resíduos, estes podem ser utilizados em soluções ambientalmente adequadas e, inclusive, rentáveis, de forma que se tenha uma ETE Sustentável. O presente artigo discute sobre as variáveis e desafios encontrados para implementação de uma ETE Sustentável, visando o reaproveitamento estratégico de seus subprodutos, além de apresentar exemplos de experiências bem-sucedidas encontradas no Brasil e no mundo, como o uso de lodo na agricultura, o uso do biogás como combustível veicular e para geração de energia e o reuso de efluente líquido para fins industrial e potável indireto.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto. Lodo. Biogás. Efluente. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Sewage treatment plants (STPs) are essential facilities for environmental preservation, by transforming collected raw sewage into treated effluent. In addition to the liquid effluent, the STPs can also generate sludge and biogas, which, traditionally, represent environmental liabilities and significant costs in the plant's operation. However, if considered as by-products and not as waste, they can be used in environmentally friendly and even profitable solutions, in order to obtain a Sustainable STP. This article discusses the variables and challenges encountered in implementing a Sustainable STP, aiming the strategic reuse of its by-products, in addition to presenting examples of successful experiences found in Brazil and worldwide, such as the use of sludge in agriculture, the use of biogas as vehicle fuel and for energy generation and the reuse of liquid effluent for industrial purposes and indirect potable reuse.

Keywords: Sewage Treatment. Sludge. Biogas. Effluent. Sustainability

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE Especiais	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FESPSP	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
GEE	Gases de Efeito Estufa
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
STP	<i>Sewage Treatment Plant</i>
UASB de lodo)	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> (reator de fluxo ascendente de manta
UNESP	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 DESENVOLVIMENTO	12
2.1 Biogás	15
2.2 Lodo	17
2.3 Efluente	20
2.4 Desafios	23
3 CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) são instalações essenciais em um sistema de esgotamento sanitário adequado. Elas são responsáveis por transformar o esgoto bruto coletado nas residências, comércios e indústrias em efluente tratado, através de processos físicos, químicos e biológicos, para que atenda aos padrões legais de lançamento nos corpos hídricos (INCT, 2019; CARDOSO MOREIRA, 2017).

Apesar de sua importância para garantir condições de vida dignas para a população, preservação da saúde pública e do meio ambiente, apenas 49,1% dos esgotos gerados no Brasil são tratados, segundo dados do SNIS (2020). Com a evolução do setor e a atualização do Novo Marco Legal do Saneamento, Lei nº 14.026/2020, almeja-se atingir 90% de esgotos tratados até 2033 no país (BRASIL, 2020), uma meta ousada que demandará muito esforço de todos os envolvidos – prestadores de serviço, reguladores, sociedade, governantes – e este avanço só será possível com a implantação de novas ETEs. Neste cenário, é primordial que se observem essas instalações sob outro olhar, voltado para o desenvolvimento sustentável.

O “desenvolvimento sustentável” é um termo que surgiu em 1987, proposto pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em documento intitulado Relatório Brundtland (BRUNDTLAND, 1991), e se baseia no desenvolvimento que supre as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atendimento das futuras gerações, ancorado no tripé da sustentabilidade, ou seja, observando o caráter ambiental, social e econômico. Bley Jr. (2014) reforça a importância do pensamento sistêmico, com a conciliação do desenvolvimento e da sustentabilidade, trazendo a frase do escritor Fritjof Capra: “Não há como esperar um desenvolvimento infinito em um planeta finito”.

Quando se fala em saneamento, este conceito também está presente e é cada vez mais frequente que se busquem alternativas e soluções mais sustentáveis para os resíduos gerados em uma ETE. Além do efluente líquido, as ETEs podem gerar também o biogás e o lodo, que representam passivos ambientais e implicam em custos elevados na operação de uma estação de tratamento. Mas, sob a ótica da economia circular, estes guardam grande valor quando passam a ser encarados como subprodutos e não como resíduos. Diversos países já estão bastante

avançados nesse aspecto do saneamento, pois reconhecem os impactos positivos que pode ser gerados na qualidade de vida da população e do meio ambiente quando é realizada a gestão mais sustentável dos subprodutos (METCALF e EDDY, 2016 *apud*. ARAUJO, 2019). Destacam-se ações tomadas em alguns países desenvolvidos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, que serão abordadas ao longo do texto, e a tendência é que essa busca pela sustentabilidade seja cada vez mais difundida nas organizações.

O conceito de sustentabilidade é complexo e transdisciplinar, podendo assumir enfoques variados, a depender do contexto em que é utilizado (BICALHO, 2016). Fajardo (2017) explica que não há na literatura definição consensual para o termo, porém este comumente remete-se a preocupações sistêmicas quanto às questões ambientais, integrando a estas as dimensões cultural, econômica, social, política e territorial, propostas por Sachs (2002). Considerando a sustentabilidade aplicada ao tratamento de esgoto, o que se busca nas ETEs Sustentáveis é que sejam avaliadas as demandas e peculiaridades locais e os aspectos do tratamento, buscando aproveitar os potenciais de cada subproduto – lodo, efluente e biogás – reduzindo os impactos ambientais, os custos e os passivos da ETE, majorando a eficiência energética e a preservação dos recursos naturais.

Em um cenário ideal e utópico, todas as ETEs deveriam ser sustentáveis, porém sabe-se que ainda estamos longe de atingir esse patamar e que, na realidade que temos hoje, isso não seria possível, tanto por questões técnicas, econômicas, legais, regulatórias e principalmente, culturais. Podem-se citar como entraves e dificuldades para alcançar este objetivo: a concepção da ETE, volume de geração pequeno, inexistência de demanda pelos subprodutos, altos investimentos, dificuldade em financiamento de soluções, padrões legais muito restritivos para uso de subprodutos, incipiência de diretrizes regulatórias, aceitação pela sociedade ao uso de subprodutos de tratamento de esgoto e mudança de cultura nas organizações, dentre outros (FAJARDO, 2017; CARDOSO MOREIRA, 2017; SILVA, 2018; OBRACZKA, 2019, GOMES, 2019).

Na realidade atual, uma avaliação criteriosa deve ser feita caso a caso, para que os potenciais de cada estação sejam mais bem aproveitados no caso concreto, onde haja viabilidade técnica e econômica. Inúmeras variáveis devem ser avaliadas, pois uma solução bem sucedida numa ETE de grande porte pode ser inviável em uma

ETE pequena, por exemplo. O local onde a ETE está instalada, a área de entorno, a área disponível para implantação de equipamentos, o número de funcionários, os potenciais clientes interessados nos subprodutos (insumos para seus processos), as necessidades energéticas internas, a distância do aterro sanitário, o nível de insolação e diversos outros critérios devem ser levados em consideração quando do projeto de uma ETE Sustentável (FAJARDO, 2017; CARDOSO MOREIRA, 2017; SILVA, 2018; OBRACZKA, 2019, GOMES, 2019).

O objetivo deste artigo é discutir alternativas que visem o reaproveitamento estratégico de subprodutos de esgoto tratado e as variáveis importantes na avaliação de uma ETE Sustentável. Com esse intuito, serão analisadas experiências nacionais e internacionais de gestão das estações de tratamento de esgoto sustentáveis, como o uso de lodo na agricultura, a geração de energia pelo biogás e o reuso do efluente líquido para fins industriais ou urbanos. Tais ações possibilitam que esses passivos da operação se tornem soluções ambientalmente adequadas e, inclusive, rentáveis para os prestadores dos serviços de saneamento.

A metodologia aplicada na elaboração deste artigo consistiu em revisão bibliográfica da literatura pertinente ao tema, como livros, artigos, periódicos, materiais disponibilizados em congressos, legislação, documentários e bases de dados sobre saneamento. A pesquisa foi dedicada a entender as variáveis e obstáculos encontrados pelos prestadores de serviços de saneamento para o uso benéfico dos subprodutos gerados em uma estação para que esta possa ser classificada como ETE Sustentável e quais soluções encontradas no Brasil e no mundo apresentaram resultados satisfatórios, de modo a serem possivelmente replicadas em outras localidades.

Este artigo está estruturado em três seções, sendo elas a Introdução, o Desenvolvimento, dividido em quatro subseções – Biogás, Lodo, Efluente e Desafios – onde se desenvolve a discussão acerca das ETES Sustentáveis, avaliando alternativas e obstáculos encontrados para reaproveitamento de cada um dos subprodutos de uma ETE e, por fim, a Conclusão.

2 DESENVOLVIMENTO

O tratamento de esgoto consiste numa sequência de processos físicos, químicos e biológicos, destinados a remover os poluentes do esgoto coletado, tais como matéria orgânica, sólidos, patógenos e nutrientes, para que este possa retornar aos corpos hídricos sem causar desequilíbrio da vida aquática (AZEVEDO, 2014).

Os processos mais usuais no Brasil são as lagoas de estabilização, o tratamento anaeróbio com reatores de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB – *upflow anaerobic sludge blanket*) ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) e o processo de lodos ativados e suas variações (CHERNICHARO *et al*, 2018; OLIVEIRA *et al*, 2019). Nos casos de processos de tratamento anaeróbios, existe a produção de biogás, que pode ser utilizado para geração de energia. Já nos processos aeróbios, a produção de lodo é maior e é necessário se prever uma destinação adequada, além de haver maior demanda energética no tratamento. Todas essas características devem ser avaliadas quando da construção ou aprimoramento para se idealizar uma ETE Sustentável, para se entender qual é a “vocação” da ETE e qual subproduto poderá ser reaproveitado.

O Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETEs Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis, 2019) elenca as principais características, vantagens e desvantagens de cada tipo de tratamento, conforme descrito a seguir.

- a) As lagoas de estabilização podem ser divididas em diversas variantes, como lagoa facultativa, aerada, anaeróbia, lagoa de maturação, de polimento, além da combinação de tipos de lagoa num mesmo sistema de tratamento. Tem a vantagem de ser um método simples, barato e eficaz, que demanda baixa mão de obra. Porém, depende de grandes áreas disponíveis e das condições climáticas do local para obter-se uma boa eficiência no tratamento.
- b) No processo anaeróbio de tratamento utilizando reatores UASB ou RAFA, os microorganismos anaeróbios (que não precisam de oxigênio) fazem a degradação da matéria orgânica presente no esgoto. São utilizados reatores fechados, sem a presença de oxigênio, o que reduz os custos com aeração e mecanização. Além disso, há vantagens por ser um sistema compacto, com baixos custos de implantação e operação, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia e remoções satisfatórias de sólidos e matéria orgânica.

Porém, podem gerar maus odores, ter baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas, e necessitar de uma etapa de pós-tratamento para atender os padrões de lançamento previstos na legislação.

- c) No processo de tratamento com lodos ativados, o afluente é enviado a um tanque aerado, onde os micro-organismos aeróbios consomem a matéria orgânica presente. Posteriormente, o esgoto passa por um decantador, onde a parte sólida se separa do efluente. Este processo de tratamento possui um alto índice de mecanização e com isso um elevado consumo de energia. É amplamente utilizado no mundo, por ser capaz de alcançar elevados níveis de remoção de sólidos, matéria orgânica e até nutrientes. O processo é ideal para situações em que não há muita área disponível (INCT, 2019).

Cada uma dessas concepções de tratamento é projetada para atender demandas específicas de cada local. Cardoso Moreira (2017) constata que “as tecnologias de tratamento podem variar de acordo com a escala da população atendida, nível de renda da municipalidade, área disponível, confiabilidade, eficiência, simplicidade, custos de investimento e operação, dentre outros”. Dependendo da concepção escolhida, diferentes subprodutos serão gerados ao fim do tratamento e sua destinação e beneficiamento podem resultar em uma ETE Sustentável.

Conforme apontado anteriormente, nem sempre uma solução viável em uma localidade poderá ser aproveitada em outra, porém fazendo um diagnóstico de cada situação, é possível encontrar pontos de melhoria e adequações, independente da escala, para que o impacto negativo causado pela ETE no meio ambiente seja o menor possível e para que o benefício seja majorado, além do evidente ganho ambiental que já é obtido simplesmente com o tratamento dos esgotos.

O Brasil tem diferenciais competitivos para a eficiência energética com fontes renováveis em todas as aplicações: tem a terceira maior disponibilidade hídrica do mundo, intensidade no regime de ventos, um índice médio de irradiação solar 2,5 vezes maior do que a do Hemisfério Norte e a biodiversidade dez vezes mais intensa para degradação da matéria orgânica, residual ou produzida (BLEY JR, 2014). É evidente que o país tem condições propícias para a ampliação do uso de energias renováveis, além da vocação agrícola e florestal para uso de lodo. Aspectos que precisam ser trabalhados para se atingir esses objetivos são vontade política, incentivos para a aplicações de tecnologias mais sustentáveis,

investimentos visando o ganho além do viés econômico, parcerias para troca de experiências e, principalmente, mudança de mentalidade das instituições e sociedade.

Além do uso dos subprodutos, outras ações podem ser implementadas em uma ETE, para que esta seja mais sustentável, por exemplo, a instalação de painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, equipamentos mais modernos e eficientes, que utilizem menos energia elétrica em seu funcionamento, postes autônomos (tecnologia híbrida para geração da própria energia através de placas solares e turbinas eólicas), dentre outros. Dados do SNIS (2020) mostram que as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento naquele ano atingiram R\$ 7,12 bilhões, com consumo de 13,26 TWh, sendo uma parcela de 1,42 TWh referente aos gastos com esgotamento sanitário. Desse modo, ações para reduzir o consumo de energia elétrica, com a implantação de fontes de energia renováveis são urgentes, tanto no aspecto ambiental quanto econômico.

Apesar da importância de tais ações para se buscar uma ETE mais sustentável, neste artigo são enfatizadas apenas as ações decorrentes do uso direto dos subprodutos – lodo, efluente e biogás. Nas próximas subseções, serão elencadas algumas das possibilidades de uso benéfico de cada um dos subprodutos, com exemplos de aplicação no Brasil e no exterior.

No Brasil, merecem destaque ações tomadas pela SABESP na mudança de cultura buscando o desenvolvimento sustentável. Em 2019 foi lançado na Companhia o Programa Corporativo ETEs Sustentáveis, o qual visa implementar ações que possibilitem a transformação dos subprodutos gerados nas ETEs em recursos sustentáveis, considerando seu aproveitamento energético e, em alguns casos, as oportunidades de mercado (SABESP, 2020). Todos os exemplos brasileiros trazidos nesse artigo fazem parte do escopo deste programa.

No cenário internacional, as experiências são inúmeras e diversas para todos os subprodutos. Para este artigo, escolheu-se apresentar ações encontradas na Alemanha e Estados Unidos.

2.1 Biogás

O biogás é uma mistura gasosa resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos (GOLDEMBERG, 2006). É majoritariamente composto por metano, o que confere ao biogás um grande potencial energético, associado à energia química nele acumulada. Entretanto, o metano é um gás indutor do efeito estufa e seu potencial de aquecimento global é 28 vezes maior que o atribuído ao dióxido de carbono (IPCC, 2014).

Com isso, se liberado diretamente na atmosfera, o biogás contribui para o aquecimento global, além de causar maus odores. Para minimizar tais efeitos, convencionalmente é realizada sua captura e queima, em *flares* (queimadores) abertos ou fechados antes do lançamento na atmosfera, porém essa prática evidencia o desperdício do potencial energético presente no biogás. Como alternativa, ele pode ser capturado e tratado para geração de energia térmica, para aquecimento de equipamentos no próprio processo de tratamento ou na secagem de lodo, para geração de energia elétrica para suprir as demandas com iluminação, aeração e equipamentos elétricos da estação e/ou venda do excedente para a rede elétrica, injeção na rede de gás natural ou purificação e beneficiamento para uso como combustível veicular (BRASIL, 2015).

Em resumo, Franciscon (2020) caracteriza o biogás como fonte de energia limpa, sendo um elemento facilmente gerado e ao mesmo tempo, altamente polutivo, mas que pode ser transformado em energia.

O Brasil tem características que encorajam o uso de biogás como fonte de energia limpa, devido ao clima quente. Bley Jr (2014) explica que a biodegradação controlada é facilitada quando realizada em condições tropicais e subtropicais, e que nessas condições, há evidentes vantagens comparativas entre as nossas condições e as de regiões mais frias. Paradoxalmente, foi nestas regiões, em países como Alemanha, Dinamarca, Holanda e outros, que a digestão anaeróbica mais se desenvolveu (BLEY JR, 2014).

Em 2015, 88% das plantas de biogás da Europa estavam concentradas em oito países (Alemanha, Reino Unido, Suécia, Suíça, Holanda, França, Áustria e Itália), onde os usos prioritários eram a geração de energia elétrica, energia térmica e produção de biometano (VAN GRINSVEN, 2017 *apud* MIKI, 2018).

Para Jordão (2017), “a experiência alemã é talvez a mais pródiga em apresentar estações de tratamento com recuperação do gás gerado e seu aproveitamento como energia elétrica e térmica”. Para eles, os digestores usados no tratamento de esgoto, que conseqüentemente geram o biogás, são vistos na verdade como uma usina de biogás, ou seja, os processos são os mesmos, mas o objetivo principal é a geração de energia elétrica e térmica com o biogás.

A Alemanha desenvolveu um projeto de Cooperação de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil chamado PROBIOGÁS, vigente de 2013 a 2017, o qual foi a primeira iniciativa brasileira em nível nacional a fortalecer o biogás enquanto fonte renovável de energia a partir de todos os tipos de substratos, possibilitando a geração distribuída, o reaproveitamento de subprodutos e a maior eficiência de processos, em especial no setor de saneamento (CARDOSO MOREIRA, 2017).

As atividades do PROBIOGÁS buscaram a capacitação de profissionais brasileiros em diversos níveis e foram pautadas em três linhas: (1) atuação junto a órgãos governamentais em prol da melhoria das condições regulatórias; (2) cooperação científica entre instituições de pesquisa brasileiras e alemãs (3) fomento da indústria brasileira para produção nacional de tecnologia e intercâmbio de conhecimento com empresas alemãs (BRASIL, 2015).

Um dos exemplos mais emblemáticos de uso do biogás no Brasil ocorre na cidade de Franca – SP, fruto deste Acordo de Cooperação Técnica Internacional, firmado entre a SABESP e o Instituto Fraunhofer da Alemanha (Fraunhofer IGB) no ano de 2015. Este projeto visa o beneficiamento do biogás gerado na ETE para produção de biometano, que então é utilizado no abastecimento veicular da frota da SABESP. A ETE possui uma vazão de tratamento de esgotos de 450 L/s e produz em torno de 2.600 Nm³/dia de biogás nos seus digestores anaeróbios de lodo. O projeto conta com uma planta de beneficiamento de biogás, um reservatório, um posto de biometano e toda infraestrutura civil, elétrica e de segurança para instalação do sistema de beneficiamento (contêiner), além da construção de uma nova linha de biogás (MIKI, 2018).

No processo, o biogás gerado no tratamento do esgoto passa por um sistema de remoção das impurezas, como o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e os siloxanos,

remoção da umidade e aumento da concentração de metano. O H_2S , responsável pelo odor de ovo podre, em altas concentrações pode causar corrosão devido à formação de ácidos durante a combustão. Os siloxanos, que após combustão formam óxidos de silício, ou areia, podem causar incrustações no motor de combustão (SABESP, 2018). Após o devido tratamento, o biometano gerado está apto a ser utilizado nos veículos, em substituição aos combustíveis fósseis tradicionais.

O uso do biogás com a finalidade de combustível veicular tem diversas vantagens, dentre elas: redução da emissão de gases de efeito estufa, diminuição da dependência de combustíveis fósseis, como gasolina e diesel e ganhos econômicos decorrentes do uso de um subproduto que era anteriormente queimado para a atmosfera (MIKI, 2018).

Outro exemplo do uso do biogás, agora para a produção de energia elétrica é na cidade de Hamburgo, na Alemanha, na qual uma ETE da empresa Hamburg Wasser conta com duas usinas de processamento de biogás – a primeira inaugurada em 2011 e a segunda em 2020, triplicando a capacidade de processamento. Com isso, a ETE é totalmente autossuficiente em termos energéticos, ou seja, produz energia limpa a partir do biogás gerado no tratamento para suprir todas as suas necessidades internas e o excedente é processado e refinado para alimentação da rede elétrica local, sendo suficiente para atender as necessidades de aquecimento de cerca de 5.700 residências (HAMBURG WASSER, 2020).

2.2 Lodo

O lodo é o principal componente sólido gerado ao fim do tratamento de esgotos, além do material retido nas caixas de areia e gradeamento, que correspondem a uma quantidade bem menor. O lodo é obtido ao final do tratamento primário, onde os sólidos decantam por gravidade, do tratamento secundário, onde há ação microbiológica e do tratamento terciário ou avançado, se houver (este último ainda é muito incipiente no Brasil e é usado principalmente onde há necessidade de remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, do efluente antes do lançamento nos corpos d'água). “De forma geral, os constituintes básicos do lodo de esgoto são a matéria orgânica, macro e micronutrientes, metais pesados, poluentes orgânicos e organismos patogênicos” (SILVA, 2018).

A caracterização qualitativa e quantitativa do lodo depende de diversos fatores, tais como o processo de tratamento utilizado, a localização da ETE e o tipo de efluente recebido (doméstico ou industrial), o tempo de digestão, maturação e estabilização do lodo, dentre outros. As ETEs localizadas em grandes centros urbanos tendem a receber maiores volumes de esgoto e podem ter contribuições de esgoto não doméstico (industrial), o que afeta diretamente a qualidade do lodo gerado e, conseqüentemente, suas alternativas de disposição final (BATISTA, 2015).

Para uma estação que receba efluentes industriais, com grande teor de metais pesados, o reaproveitamento do lodo na agricultura pode não ser viável, considerando as tecnologias e estado da arte atual. Porém, uma ação possível para que esta ETE seja mais sustentável neste cenário é buscar a redução do volume a ser destinado para aterros sanitários, através da realização de um processo mais intenso de secagem com estufas, centrífugas, filtros-prensa ou leitos de secagem, por exemplo.

A forma de disposição de lodo mais comum no Brasil é em aterros sanitários, o que implica em altos custos para os operadores de sistemas de esgotamento sanitário, tanto no pagamento da disposição em si, quanto para seu transporte em caminhões, visto que muitas vezes os aterros ficam a grandes distâncias das estações.

A geração de lodo em uma ETE corresponde a cerca de 1 a 2% do volume de efluente líquido, porém os custos relacionados ao seu gerenciamento são substanciais, variando de 20 a 60% dos custos totais de operação de uma ETE (SPINOSA et al., 2011; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014 *apud* SILVA, 2018).

Ademais, o transporte do lodo feito com caminhões causa a emissão de gases de efeito estufa e pode demandar um número muito grande de viagens, dependendo do porte da ETE e da quantidade de lodo produzida. Deve-se considerar também a competição por espaço nos aterros com outros tipos de resíduos, por exemplo, os resíduos sólidos urbanos - RSU.

No Brasil, a maior parte dos RSU coletados segue para disposição em aterros sanitários, e registrou-se um aumento de 10 milhões de toneladas em uma década, passando de 33 para 43 milhões de toneladas por ano (ABRELPE, 2020). Cabe salientar que, segundo a Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos

(BRASIL, 2010), a disposição em aterros sanitários é uma destinação aceita para rejeitos, ou seja, “resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”.

Diante disso, há a urgência em se buscar novas destinações para o lodo, evitando assim a sobrecarga dos aterros sanitários, pois existe tecnologia disponível e economicamente viável para seu beneficiamento (BRASIL, 2015).

Alguns fatores que podem influenciar na decisão de qual será a destinação são: quantidade e qualidade do lodo, distância de transporte, disponibilidade de área, simplicidade operacional, requisitos tecnológicos, impactos ambientais, incentivos econômicos e aceitação pública (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; LUNDIN *et al.*, 2004; LEBLANC; MATHEWS; RICHARD, 2008 *apud* SILVA, 2018)

Outras destinações possíveis além do envio para aterros sanitários incluem a fabricação de tijolos e cerâmicas, agregado leve para construção civil, cimento, fertilizante orgânico, compostagem e recuperação de solos degradados. Contudo há muita dificuldade em difundir o lodo em produtos no mercado, pela falta de conscientização e de legislações adequadas (GOMES, 2019).

No Brasil, o aproveitamento do lodo de esgoto em solos é previsto na resolução CONAMA 498/2020, que define critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólidos em solos (BRASIL, 2020). Publicada recentemente após anos de estudo e debate, a resolução é uma grande vitória para o setor de saneamento, pois substituiu a resolução CONAMA 375/2006, que tinha parâmetros mais restritivos e dificultava a aplicabilidade do lodo para este fim, mesmo com tantas experiências de uso seguro e benéfico em diversos países (SILVA, 2018).

O Brasil, haja vista a distribuição demográfica, as condições climáticas favoráveis, a disponibilidade de terra e a vocação agropecuária do país, tem grande propensão ao aproveitamento na agricultura e/ou na recuperação de áreas degradadas. “Diversas pesquisas nacionais já demonstram a forte aptidão do país para recebimento de lodos de esgoto como fertilizantes para produção agrícola” (WETLANDS, 2019).

O uso agrícola do lodo pode ser feito através da compostagem, que é um processo de decomposição de matéria orgânica pela ação de micro-organismos, resultando em um composto orgânico similar ao húmus. Ocorre em duas fases: estabilização e maturação. Na primeira, ocorre a incorporação do lodo com uma fonte de carbono (material estruturante) e há um aumento de temperatura até cerca de 70 °C, diminuindo ou eliminando patógenos. Na segunda, ocorre a humificação e mineralização de componentes da matéria orgânica (RIBEIRO, 2018).

Visentin *et al* (2020) demonstram em seu artigo que a compostagem pode ser economicamente viável, dependendo das combinações de material estruturante utilizado, economia de custos e receita com a comercialização do fertilizante obtido. Em alguns casos, apenas com a economia de custos com transporte e disposição final em aterro sanitário já torna o projeto economicamente viável. Porém, é necessário “planejamento e análise detalhada de todos os parâmetros para que sejam escolhidas as alternativas que minimizem os riscos e proporcionem vantagens econômicas” (VISENTIN *et al*, 2020).

Um dos exemplos de uso benéfico do lodo no Brasil é na cidade de Botucatu – SP, onde a SABESP, UNESP e FAPESP fizeram uma parceria para compostagem do lodo e seu uso na agricultura. Ao lado da ETE foi construída uma estufa de secagem e compostagem do lodo para transformação em adubo. O produto obtido nesse processo foi aprovado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para comercialização como Fertilizante Orgânico Composto Classe D, após passar por pesquisas, com resultados muito positivos, que garantem sua segurança sem qualquer tipo de risco a quem for utilizá-lo (SABESP, 2018).

2.3 Efluente

O efluente líquido pode ser considerado o principal produto de uma estação de tratamento de esgotos. As ETEs são projetadas e construídas com a finalidade de remover os contaminantes do esgoto para que o efluente final seja lançado de volta aos corpos hídricos sem prejudicar o meio ambiente. Quando atendidos os padrões de lançamento previstos na legislação, o efluente já tem um importante papel de recarga dos corpos d'água, fechando o ciclo de captação, uso, tratamento e retorno à natureza.

Mas o estresse hídrico é cada vez mais expressivo no Brasil e no mundo, tanto por questões quantitativas como qualitativas (OBRACZKA *et al*, 2019). Os múltiplos usos, condições climáticas extremas, poluição e diversos outros fatores colocam em alerta a necessidade de uso mais sustentável desse valioso bem – a água.

Desta forma, o reuso das águas servidas para fins menos nobres se mostra como uma possibilidade, diminuindo o consumo de água potável e garantindo a segurança hídrica de uma região (CETESB, s/d). Algumas possibilidades de reutilização são o reuso para fins urbanos, como a lavagem de vias públicas e feiras livres, irrigação de jardins e áreas verdes, desentupimento de bueiros e redes de esgoto, a fertirrigação de cultivos agrícolas e florestas e o reuso para fins industriais, em sistemas de resfriamento e lavagem de equipamentos.

Além do reuso externo, é possível utilizar o efluente em atividades dentro da própria estação, por exemplo, a lavagem de filtros e equipamentos ou rega de jardins e áreas verdes. Ademais, algumas ETEs possuem um grande desnível entre o ponto final de lançamento de efluente e o corpo receptor e essa característica dá a possibilidade de geração de energia com a instalação de uma pequena central hidrelétrica – PCH. Entretanto, além do desnível, o volume de efluente também precisa ser considerado para que o projeto seja viável, por isso um diagnóstico realizado em cada ETE é primordial para definir-se a melhor estratégia de reaproveitamento dos subprodutos.

Para se avaliar a viabilidade de implantação de uma planta de reuso em uma estação, alguns fatores devem ser considerados, tais como: volume e qualidade do efluente tratado, potenciais clientes interessados na compra da água de reuso (prefeituras, indústrias), parâmetros exigidos para o uso pretendido, tecnologias necessárias e disponíveis no mercado para atingir tais parâmetros, distância da ETE ao destino, formas de transporte (caminhões, aquedutos, adutoras), dentre outros (OBRACZKA *et al*, 2019).

Além da viabilidade técnica e econômica do reuso, cabe salientar a importância de garantir a segurança dos usuários. Azevedo (2014) assevera que “a maior preocupação com o reuso relaciona-se com os riscos associados à saúde pública, sendo necessário assegurar que a qualidade da água esteja dentro dos padrões de qualidade aplicáveis, compatíveis com o uso pretendido”.

Um dos exemplos bem sucedidos de reuso de água no Brasil é o Aquapolo Ambiental. O empreendimento é uma parceria da Sabesp com a BRK Ambiental e utiliza os esgotos tratados na ETE ABC em São Paulo para produção de água de reuso para 10 empresas do Polo Petroquímico da Região do Grande ABC, aplicada em torres de resfriamento e reposição de água de caldeira para geração de energia. É o maior empreendimento para água de reuso industrial na América Latina e o quinto maior do mundo, fornecendo 650 L/s, o que equivale ao abastecimento de uma cidade de 500 mil habitantes (CEBDS, 2018). Após o tratamento convencional na ETE, o efluente passa por um tratamento adicional, com membranas de ultrafiltração e osmose reversa, processos tecnológicos avançados para atingir parâmetros adequados para reuso industrial, definidos pelo próprio Polo Petroquímico, evitando incrustações e corrosões em seus equipamentos.

Além do reuso para fins urbanos e industriais, o reuso para fins potáveis ainda não conta com legislação específica no Brasil, porém é uma prática vastamente utilizada internacionalmente, podendo ser o reuso potável indireto ou direto. No reuso indireto, o efluente passa por um tratamento avançado e, se necessário, um balanceamento químico e é devolvido ao manancial superficial ou subterrâneo. Já o reuso direto consiste em introduzir o efluente da ETE diretamente em uma estação de tratamento de água (ETA), retornando ao sistema público de distribuição. No segundo caso, o controle de qualidade é muito mais restritivo, garantindo níveis seguros para abastecimento da população (BRK, 2020).

Outro caso interessante de reuso indireto acontece na Califórnia, na região de Orange County. Em 1972, houve uma severa crise hídrica, devido a condições climáticas, aumento populacional e grande demanda pela indústria e agricultura, causando níveis alarmantes de estresse hídrico no manancial. A solução para o problema foi utilizar as mais modernas técnicas de purificação do esgoto tratado, feitas com o uso de membranas e desinfecção com raios ultravioleta (BRK, 2020). Após o tratamento, a água de reuso é retornada ao manancial subterrâneo, evitando o processo de evaporação que acontece nos mananciais superficiais, que beira 5% do volume. Realizando a recarga diretamente no aquífero, também se previne a contaminação da água que poderia ocorrer nos corpos d'água superficiais (MOURA, 2004).

2.4 Desafios

Conforme exposto anteriormente, a adoção de uma visão mais sustentável em relação ao tratamento de esgoto não é uma tarefa simples, pois envolve fatores como mudança de cultura, viabilidade técnica e econômica das soluções propostas, evolução da legislação e regulação, parcerias estratégicas para troca de experiências e conhecimento, capacitação, aceitação da sociedade no uso de produtos provenientes do tratamento de esgoto, vontade política dentre outros.

Entraves e dificuldades estão presentes na mudança de qualquer paradigma, porém é através do diálogo, discussão e disseminação desta pauta que se poderá chegar a soluções. Muitos países já tomam a sustentabilidade como essencial na operação de suas ETEs, proporcionando benefícios ambientais, sociais e econômicos (METCALF e EDDY, 2016 *apud*. ARAUJO, 2019). O Brasil avança a passos lentos nessa questão, mas já estão sendo observadas importantes marcas no uso mais sustentável dos subprodutos de uma ETE, tais como as experiências elencadas no presente artigo. Muitos desafios ainda devem ser vencidos, tanto em relação à visão global de uma ETE Sustentável, quanto às especificidades de cada subproduto.

Considerando uso do lodo, ainda há muita resistência da sociedade em relação ao seu uso (GOMES, 2019), principalmente na agricultura, mesmo diante de um grande potencial de reaproveitamento no país, por suas características climáticas e de uso do solo, além das diversas experiências que provam ser uma técnica segura e difundida ao redor do mundo. Com a promulgação da nova resolução CONAMA 498/2020, espera-se que haja avanços positivos nesse aspecto, com a possibilidade de reaproveitamento de nutrientes presentes no lodo, impulsionando a agricultura, reduzindo as emissões de GEE no transporte de lodo e reduzindo a competição por espaço com outros tipos de rejeitos nos aterros sanitários.

Considerando o biogás, por demandarem-se vultuosos investimentos iniciais para a instalação de equipamentos para seu reaproveitamento energético, o grande desafio é que as empresas tenham a visão de longo prazo, possibilitando o retorno econômico através de economia de energia, venda do excedente e menor dependência de combustíveis fósseis. Ademais, a capacitação e troca de experiências é indispensável para a evolução do setor, com a integração da

academia, indústrias, órgãos públicos e privados, buscando o desenvolvimento tecnológico, logístico, legal e regulatório quanto ao uso de biogás (BRASIL, 2015).

Com base no Resumo Técnico do 4º Workshop Internacional sobre aproveitamento energético de biogás de ETEs (BRASIL, 2016), Araújo (2019) pontua que um dos maiores obstáculos para o aproveitamento energético do biogás é de ordem cultural, sendo necessária a mudança de percepção dos profissionais do setor a respeito das ETEs atuais, pois falta consenso quanto à importância da gestão integrada e sustentável para valorizar o tratamento de esgoto no país.

Por fim, considerando o efluente líquido, o reuso pode apresentar diferentes complexidades de implementação, a depender do uso pretendido. Fatores técnicos e econômicos influenciam na viabilidade desta solução, principalmente em relação ao volume e qualidade do efluente produzido. Para reuso interno na própria ETE ou para fins urbanos, o pós-tratamento é mais simples e com parâmetros mais facilmente alcançáveis, muitas vezes já atendidos pelo nível de tratamento atual, como a eliminação de patógenos pela desinfecção final do efluente. Para fins industriais, é necessário maior controle de parâmetros para evitar incrustações e danos aos equipamentos. Já para fins potáveis, no Brasil ainda há um grande caminho a percorrer, tanto em questão de legislação, aceitação popular e segurança para implementação do reuso para este fim.

3 CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada uma visão geral sobre o tema de ETEs Sustentáveis, sua importância, seus desafios e algumas experiências de sucesso no Brasil e no mundo.

Com o aumento desenfreado do consumo e descarte de resíduos, exploração dos recursos naturais, poluição das águas e do ar, mudanças climáticas e escassez hídrica, é urgente que se pense em novas formas de consumo, reaproveitamento e uso de fontes renováveis de energia. Neste diapasão, as ETEs Sustentáveis se mostram como um caminho a ser buscado no setor de saneamento, enquadrando-se no conceito de desenvolvimento sustentável. Nelas, é proposto o

reaproveitamento benéfico dos subprodutos – lodo, efluente e biogás – diminuindo possíveis impactos causados ao meio ambiente.

Diante de todo o exposto neste artigo, pode-se concluir que existem soluções viáveis e bem sucedidas, tanto no Brasil quanto no exterior, para o uso dos três subprodutos de uma ETE. O lodo pode ser reaproveitado na agricultura e recuperação de áreas degradadas, diminuindo o impacto nos aterros sanitários e promovendo o reaproveitamento de nutrientes. O biogás pode ser usado para geração de energia elétrica, energia térmica e como combustível veicular, reduzindo o efeito estufa causado por seu lançamento direto na atmosfera. O efluente líquido pode ser reutilizado para fins industriais, urbanos, potáveis ou dentro da própria ETE, promovendo a preservação da água potável para fins mais nobres.

Apesar dos exemplos bem sucedidos apresentados, também se conclui que para o projeto e implantação de uma ETE Sustentável é primordial a elaboração de um diagnóstico que leve em conta as peculiaridades no caso concreto, como a área de entorno, o tipo de tratamento e a caracterização dos subprodutos gerados na ETE, as demandas locais, os custos e tecnologias necessários e disponíveis no mercado, dentre outros fatores que influenciarão na escolha da destinação mais adequada de seus subprodutos, a depender da viabilidade técnica e econômica. Nem sempre uma solução viável em uma localidade será replicável em outra, por isso é fundamental a capacitação do corpo técnico e gerencial das empresas e a troca de experiências e conhecimentos, para garantir decisões acertadas em cada situação.

Ademais, a implantação de ETEs Sustentáveis encontra diversos desafios a serem superados, tanto de ordem técnica, econômica, legal, política e cultural, podendo ser destacados os altos investimentos, a viabilidade técnica das soluções, a legislação e padrões legais para uso de subprodutos, a incipiência de diretrizes regulatórias, a aceitação pela sociedade ao uso de subprodutos de tratamento de esgoto e a mudança de cultura nas organizações, dentre outros

Espera-se que esta temática seja cada vez mais difundida nas organizações, instituições de pesquisa, órgãos setoriais e sociedade em geral, com o intuito de promover a mudança de cultura, a capacitação e a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/>. Acesso em 08 abr. 2021.

Água de reúso: entenda os benefícios da reutilização. In: BRK Ambiental. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/reuso-da-agua/>

Acesso em: 22. Abr 2021.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**, 2º ed., Vol. 6. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 444 p.

Aquapolo: produção de água de reúso industrial. In: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS. 26 nov. 2018. Disponível em: https://cebds.org/aquasfera/aquapolo-producao-de-agua-de-reuso-industrial/?gclid=Cj0KCQjw1a6EBhC0ARIsAOiTKrH6tDH1ACKyOdoEJQ0D_saa0rZnChDzWYarVVCYDqezzM9rGmyQ2R0aAk0_EALw_wcB

Acesso em: 22 abr. 2021.

ARAÚJO, A. B. **Panorama, estimativa e avaliação do potencial de produção e utilização do biogás de reatores UASB em ETEs operadas pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará**. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

AZEVEDO, L.S. **Aproveitamento dos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto de Juiz de Fora**. 2014. 79f. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) - Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.

BATISTA, L. F. **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. 2015. 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília.

BICALHO, F. **Afinal, o que é sustentabilidade?** In: Way Carbon. 17 mar. 2016. Disponível em: <https://blog.waycarbon.com/2016/03/o-que-e-sustentabilidade/>. Acesso em: 01 jun. 2021.

BLEY JR, C. **Biogás: a energia invisível**. São Paulo: CIBiogás; Ed. Abril; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2014. 69 p.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução 498 de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 de agosto de 2020. Poder Executivo.

BRASIL. Lei no. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos [...] e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 de agosto de 2010. Poder Executivo.

BRASIL. Lei no. 14.026 de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 de julho de 2020. Poder Executivo.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Aproveitamento energético de biogás de ETEs**. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Probiogás. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Bruno Silveira ... [et al.]. – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. 183 p.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso futuro comum: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CARDOSO MOREIRA, H. **Biogás em estações de tratamento de esgotos: os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha**. 2017. 174 f. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Águas Interiores: Réuso de Água**. Disponível em: < <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoesbasicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

CHERNICHARO, C. A.L. *et al.* Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**. São Paulo. v. 66. n 213. p 5-19, 2018.

FAJARDO, P. A. *et al.* **Estações de tratamento de esgoto sanitário: uma abordagem sobre a sustentabilidade**. 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique. Maputo, 2017.

FRANCISCON, A. **Produção de energia como subproduto em estações de tratamento de esgoto sanitário**. *Geomae*, Campo Mourão, v.11, n.1, p.75-90, 2020.

GOLDEMBERG, J. Metano: Um combustível de futuro. In: **Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil**. São Paulo, SP: SMA, 2006. p.7.

GOMES, L. M. **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto e a relação com o meio ambiente**. 2019. 37 f. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Novo processamento de gás na estação de tratamento de esgoto de Hamburgo entra em operação. In: HAMBURG WASSER. 22 jul. 2020.

Disponível em:

<https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/unternehmen/presse/mehr-bio-methan-aus-abwasser-staedtische-unternehmen-steigern-erneuerbare-energien-im-gasnetz/>

Acesso em: 16 mai. 2021.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 154p.

IPCC. (2014). **Climate change 2014**. Synthesis Report.

JORDÃO, E. P. É possível economizar energia nas estações de tratamento de esgoto? **Revista DAE**. São Paulo. v. 63. n 200. p 6-12, 2015

LEBLANC, R. J.; MATHEWS, P.; RICHARD, R. P. *Introduction*. In: **United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource**. 2008, p. 1-14

Lodos de esgoto: tecnologias de tratamento e formas de destinação. In: Wetlands Blog: Conteúdos e eventos relevantes sobre a tecnologia wetlands construídos. 14 nov. 2019.

Disponível em: <https://www.wetlands.com.br/post/lodos-de-esgoto-tecnologias-de-tratamento-e-formas-de-destinacao>.

Acesso em: 23 abr. 2021.

LUNDIN, M.; OLOFSSON, M.; PETTERSSON, G. J.; ZETTERLUND, H. ***Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options.*** Resources Conservation & Recycling. v. 41, p. 255-278. 2004

METCALF; EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MIKI, R.E. Biometano produzido a partir de biogás de ETEs e seu uso como combustível veicular. **Revista DAE.** São Paulo. v. 66. n 209. p 6-16, 2018

MOURA, A. N. **Recarga artificial de aquíferos: os desafios e riscos para garantir o suprimento futuro de água subterrânea.** XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS. Cuiabá, 2004.

OBRACZKA, M. *et al.* **Aproveitamento de efluente tratado proveniente da ETE Alegria para reuso em áreas urbanas.** 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. Natal, 2019.

OLIVEIRA, E. N.; FERREIRA, M. F.; OLIVEIRA, W. F.; OLIVEIRA, R. R. Estudo bibliográfico das tecnologias utilizadas no tratamento do esgoto e a legislação em vigor no Brasil. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.20-27, 2019.

Principais métodos de tratamento de esgoto. In: INCT ETES Sustentáveis. 14 ago. 2019. Disponível em: <https://etes-sustentaveis.org/metodos-tratamento-de-esgoto/>.

Acesso em: 18 abr. 2021.

RIBEIRO, L. C. **Compostagem de lodo de esgoto: caracterização e Bioestabilização.** 2018. 93f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153225/ribeiro_lc_me_botfca.pdf;jsessionid=52C0B58DB0622E81D64DA38719362E98?sequence=3

Acesso em: 20 abr. 2021.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: site.sabesp.com.br/. Acesso em: 23 abr. 2021

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**, 4 ed. Garamond, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, L. A. C. **Identificação e avaliação de áreas potenciais de uso agrícola do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário nas bacias dos rios Vlehas, Jequitai e Pacuí**. 2018. 140f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31495>.

Acesso em: 23 abr. 2021.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO.

Disponível em: www.snis.gov.br/.

Acesso em: 08 abr. 2021.

SPINOSA, L.; AYOL, A.; BAUDEZ, J.; CANZIANI, R.; JENICEK, P.; LEONARD, A.; RULKENS, W.; XU, G.; DIJK, L. **Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management**. *Water*, v.3, p. 702-717, 2011

VAN GRINSVEN.; LEGUIJT, C.; TALLAT-KELPSAITE, J. **Supporting mechanisms for the development of biomethane in transport**. Delft, CE Delft, Março, 2017.

VISENTIN, R.; MATEUS, C.; ESPERANCINI, M.; VILLAS BOAS, R. Viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto para uso agrícola. **Holos Environment**, v. 20. n. 2. p 152-167, 2020.

Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/12372>

Acesso em: 28 abr. 2021