

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO LODO PRODUZIDO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE PORTO ALEGRE/RS

Raquel Hartmann – raquel-hartmann@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS

Anelise Nardi Hüffner – ane.huffner@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS

Maria Cristina de Almeida Silva - maria.almeida@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, Porto Alegre/RS

Resumo: O tratamento de esgoto produz lodo, resíduo orgânico com potencial energético quando submetido à digestão anaeróbia. Nesse processo, gera-se biogás composto principalmente por metano, que pode ser aproveitado para geração de energia elétrica. Este trabalho estimou o potencial de produção de biogás e de geração de energia em 7 (sete) Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) do município de Porto Alegre/RS, utilizando dados operacionais do período de janeiro de 2017 a dezembro de 2021, fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE-POA). Foram avaliadas estações com sistemas de lodos ativados, UASB e UASB seguido de lodos ativados. O lodo gerado nas estações menores foi centralizado em duas ETEs de maior porte: a ETE São João/Navegantes (zona norte) e a ETE Serraria (zona sul). Os resultados indicam que a biodigestão pode atender aproximadamente 40% do consumo de energia elétrica das estações, representando uma economia financeira superior a R\$ 6,27 milhões anuais. O estudo demonstra que o aproveitamento energético do biogás é uma alternativa técnica e economicamente viável, contribuindo para a eficiência operacional, a redução de custos e a mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

Palavras-chave: Estação de tratamento de esgoto; lodo de esgoto; digestão anaeróbia; biogás; aproveitamento energético.

Abstract: Wastewater treatment produces sewage sludge, an organic residue with energy potential when subjected to anaerobic digestion. During this process, biogas is generated, composed primarily of methane, which can be utilized for electricity generation. This study estimated the potential for biogas production and energy generation in seven Wastewater Treatment Plants (WWTPs) located in Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil, using operational data from January 2017 to December 2021 provided by the Municipal Department of Water and Sewage (DMAE-POA). Plants employing activated sludge systems, UASB

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

reactors, and UASB reactors followed by activated sludge processes were evaluated. The sludge generated at the smaller plants was centralized at two larger WWTPs: São João/Navegantes WWTP (northern zone) and Serraria WWTP (southern zone). The results indicate that biodigestion could supply approximately 40% of the plants' electricity demand, representing annual financial savings exceeding BRL 6.27 million. The study demonstrates that energy recovery from biogas is a technically and economically feasible alternative, contributing to improved operational efficiency, cost reduction, and mitigation of greenhouse gas emissions.

Keywords: Wastewater treatment plant; sewage sludge; anaerobic digestion; biogas; energy recovery.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário é indispensável para a qualidade ambiental e a saúde pública. Como subproduto desse processo, é gerado o lodo de esgoto, resíduo predominantemente orgânico que pode ser tão ou mais impactante para o meio ambiente do que o próprio esgoto bruto (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001). O gerenciamento do lodo representa entre 20% e 60% dos custos totais de operação de uma estação de tratamento de esgotos, constituindo um dos principais desafios operacionais do setor. Dessa forma, o tratamento e a disposição final do lodo constituem muitas vezes problemas particularmente difíceis ou complexos. Isso ocorre em razão das grandes quantidades que podem ser geradas, da dificuldade em se encontrar locais adequados ou seguros para o destino final do lodo seco, da própria distância de transporte, aos custos, aos impactos ambientais, e das características de operação e processo (JORDÃO & PESSÔA, 2017).

As estações de tratamento de esgotos (ETEs) do município de Porto Alegre, localizado no estado do Rio Grande do Sul e objetos de estudo deste trabalho, transportam seus lodos gerados e os encaminham para o aterro sanitário de Minas do Leão, o qual possui um moderno sistema de coleta do biogás e unidade de geração de energia (CRVR, 2020). Entretanto, sabe-se que no Brasil o meio de transporte mais usual de resíduos é o rodoviário, que envolve os maiores riscos de danos ao meio ambiente e à saúde pública (GEHLING, 2020). Além disso, o aproveitamento energético deve ser priorizado no próprio local de geração de lodo, de modo que se torne mais benéfico ambiental e economicamente.

Ainda, tem-se que o consumo de energia elétrica é o terceiro maior componente das despesas de exploração das estações de tratamento, tendo totalizado mais de R\$ 7,3 bilhões em 2020 no Brasil (SNIS, 2022). A tendência de aumento das tarifas de energia elétrica, aliada à ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário, reforça a necessidade de alternativas que promovam a autossuficiência energética dessas instalações.

Nesse contexto, o aproveitamento energético do biogás gerado na digestão anaeróbia do lodo emerge como solução atrativa. Ao converter um passivo ambiental em ativo energético, essa prática contribui para a redução dos custos operacionais, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e o cumprimento das metas climáticas assumidas pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

(MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES et al., 2020). Assim, o presente trabalho teve como objetivo estimar o potencial de geração de energia a partir do biogás produzido no tratamento do lodo das ETEs do município de Porto Alegre, avaliando os benefícios econômicos e ambientais dessa alternativa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Lodo de Esgoto e Sua Gestão

Cerca de 80% da água captada em ambientes naturais, tratada e distribuída por redes públicas para consumo humano se transforma em esgoto após usos domésticos. Nessas atividades, ela incorpora resíduos, material orgânico e nutrientes (SNIS, 2022). Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,90% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,10% que há necessidade de se tratar os esgotos (SPERLING, 1996). Em suma, o lodo de esgoto é o subproduto sólido do tratamento de efluentes, composto principalmente por sólidos suspensos, matéria orgânica (sólidos suspensos voláteis – SSV) e componentes inorgânicos (sólidos suspensos fixos – SSF).

Com a aprovação da Lei Federal nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), apenas a parte não aproveitável dos resíduos (rejeitos) pode ser encaminhada para aterros sanitários. Isso significa que o lodo das ETE precisa ser submetido a todos os processos possíveis de tratamento e recuperação por meio das tecnologias disponíveis e economicamente viáveis, antes de ser depositado em um aterro sanitário. Apesar da viabilidade econômica ser um critério que varia caso a caso, o envio de lodos para aterros já começa a ser considerado impeditivo em alguns municípios, conforme a lei supracitada (PROBIOGÁS, 2015a).

2.2 Digestão Anaeróbia e Biogás

O processo de digestão anaeróbia, para produção de metano, é o método mais comumente utilizado para a recuperação de energia dos sólidos presentes em efluentes (METCALF & EDDY, 2016). Como reforça a PROBIOGÁS (2015a), para poder ser usado como substrato na digestão anaeróbia, o lodo deve apresentar elevadas concentrações de matéria orgânica biodegradável. O biogás é composto tipicamente por 65% a 70% de metano (CH_4) e 25% a 30% de gás carbônico (CO_2), com poder calorífico inferior de aproximadamente 22.400 kJ/m³ (METCALF; EDDY, 2016). Esse processo reduz em torno de 50% dos sólidos voláteis do lodo, gerando entre 0,8 e 1,1 m³ de biogás por kg de SSV destruídos (JORDÃO; PESSÔA, 2017).

Segundo Valente (2015), ETEs que atendem até 50.000 habitantes não são economicamente viáveis para aproveitamento energético do biogás. A escala mínima de viabilidade situa-se entre 100.000 e 200.000 habitantes (vazões a partir de 150 L/s), sendo que quase todos os arranjos avaliados para 200.000 e 450.000 habitantes se mostraram viáveis. Portanto e consequentemente, os principais custos evitados em estações de tratamento que utilizam o biogás para geração de energia elétrica são o custo da tarifa elétrica local e o custo relacionado ao lodo, como o transporte e sua disposição final. Apesar de não poderem ser gerenciadas diretamente pelo setor de

Realização



Apoio Institucional

REBOB
Rede Brasileira de
Resíduos Orgânicos Biodegradáveis

Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

saneamento, o conhecimento sobre essas duas variáveis é muito importante para garantir uma análise de viabilidade adequada sobre um projeto ao longo da sua vida útil (PROBIOGÁS, 2015a).

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Porto Alegre, que possui população estimada de 1.332.845 habitantes (IBGE, 2022) e é atendido por 10 Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES), dos quais nove contam com ETE em operação (Figura 1). As informações referentes ao monitoramento dos processos de tratamento de todas as ETEs do município foram obtidas junto ao Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), por meio de solicitação realizada com base na Lei de Acesso à Informação.

Foram requeridos os seguintes dados: (i) os processos de tratamento empregados em cada ETE; (ii) a população contribuinte atendida; (iii) a eficiência do tratamento, expressa em percentual de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO); (iv) o consumo mensal de energia elétrica; (v) os custos mensais de operação; (vi) as estimativas de geração de lodo primário e secundário (kg/mês e m³/mês); (vii) a destinação dos lodos gerados; e (viii) a caracterização dos sólidos presentes nos lodos, bem como as concentrações de sólidos totais voláteis ou sólidos suspensos voláteis nos reatores biológicos. Adicionalmente, foram solicitadas as concentrações dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) no afluente bruto e no efluente tratado, além das vazões de esgoto submetidas ao tratamento. Os dados disponibilizados pelo DMAE abrangem o período compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2021.

Figura 1: Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) de Porto Alegre.

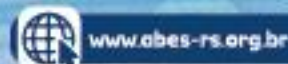
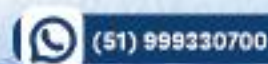
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores





Fonte: DMAE et al. (2015)

As informações referentes aos SES, as ETE e seus respectivos processos de tratamento, dados de população beneficiada e de vazão de cada estação estão dispostas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Sistemas de Esgotamento Sanitário e os dados de suas respectivas Estações de Tratamento de Esgotos.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES)	Estações de Tratamento de Esgotos (ETE)	Processo de tratamento	População beneficiada (habitantes)	Vazão (L/s)
Rubem Berta	Rubem Berta	Lodos Ativados de Aeração Prolongada de Valos de Oxidação	20.592	82
Sarandi	Parque do Arvoredo	Lodos Ativados de Aeração Prolongada em Batelada	16.615*	25
	Bosque	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)	1.800	4
	Sarandi	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) + Lodos Ativados com Aeração Prolongada	50.000	203
Navegantes	São João/Navegantes	Lodos Ativados Convencional com Digestão Anaeróbia	143.708	444
Ponta da Cadeia	Serraria	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) + Lodos Ativados	1.080.000	2.700
Cavallhada	Esgotos são encaminhados para tratamento na ETE Serraria.			
Zona Sul	Ipanema	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em Série	141.959	246
Salso	Chácara das Nascentes	Reator Biológico de Leito Móvel	2.658*	4
Belém Novo	Belém Novo	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em Série	9.710	60
Lami	Lami	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em Série	4.855	30
Ilhas	Não possui, o tratamento de esgotos é realizado de forma individual.			

*A população beneficiada foi estimada em razão do valor não ter sido encontrado/fornecido. O cálculo para a estimativa considerou o dado apresentado pela NBR 7229/1993. A norma define uma

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

contribuição diária de esgoto por ocupante permanente numa residência de padrão médio igual a 130L/hab.d (NBR 7229, 1993).

Fonte: próprio autor com base nos dados obtidos a partir do DMAE et al. (2015), DMAE (2022) e Governo Federal e Agência Nacional de Águas (2017).

Portanto, com base na Tabela 1 e a partir do entendimento que quanto maior a geração de lodo, maior será a produção de biogás, e consequentemente, maior geração de energia, determinou-se a adoção daquelas ETE que possuem maior frequência de remoção de lodo. Ou seja, as ETE que possuem maior frequência são aquelas que possuem o sistema de tratamento de lodos ativados (intervalo típico de remoção contínuo ou em horas) e UASB (intervalo típico de remoção em semanas). Em vista disso, das 10 (dez) ETE em operação no município de Porto Alegre, para o desenvolvimento do presente estudo, foram adotadas no estudo 7 (sete) ETE, sendo elas: Rubem Berta, Parque do Arvoredo, do Bosque, Sarandi, São João/Navegantes, Serraria e Chácara das Nascentes.

Para viabilizar o aproveitamento energético, adotou-se o conceito de centralização do lodo em duas ETEs de maior porte:

a) ETE São João/Navegantes (zona norte): recebe o lodo das ETEs Rubem Berta, Parque do Arvoredo, Bosque, Sarandi e Chácara das Nascentes. Já dispõe de digestores anaeróbios em operação.

b) ETE Serraria (zona sul): centraliza o próprio lodo, por tratar a maior vazão afluyente do município (2.700 L/s, correspondendo a 352% a mais que a soma das outras seis estações).

A estimativa da produção de lodo foi realizada com base em dados operacionais das ETEs de Porto Alegre referentes ao período de 2017 a 2021, utilizando metodologias propostas por Jordão e Pessoa (2017) para sistemas de lodos ativados, reatores UASB e sistemas combinados UASB-lodos ativados. A geração de biogás foi estimada a partir da massa de sólidos voláteis destruídos na digestão anaeróbia, assumindo redução de 50% dos SSV e produção específica média de 0,95 m³ de biogás por quilograma de SSV removido. As equações 1, 2, e 3 demonstram estes cálculos.

$$SSV_{afl} = SST_{afl} \times R_{ssv/sst} \quad (1)$$

$$SSV_{efl} = (1-50\%) \times SSV_{afl} \quad (2)$$

$$Q_{biogás} = SSV_{efl} \times 0,95 \quad (3)$$

Sendo: SSV_{afl} = carga de sólidos voláteis no lodo afluyente ao digestor (kg SSV/d); SST_{afl} = carga de sólidos totais no lodo afluyente ao digestor (kg SST/d); $R_{ssv/sst}$ = relação SSV/SST (%); SSV_{efl} = carga de sólidos voláteis no lodo efluyente ao digestor (kg SSV/d); 50% = eficiência de remoção de sólidos voláteis na digestão (%); $Q_{biogás}$ = vazão de biogás gerado (m³ gás/d); 0,95 = taxa específica de geração de biogás (m³/kg SSV destruídos).

Considerou-se a composição média de 65% de metano no biogás para estimar a produção de CH₄ e o potencial energético. A energia elétrica gerada foi calculada utilizando poder calorífico inferior de 22.400 kJ/m³, enquanto a viabilidade econômica foi avaliada com base na tarifa média

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

regional de energia elétrica e nos custos operacionais das ETEs, assumindo participação de 15,7% da energia elétrica nas despesas de operação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Geração de Lodo nas ETEs

A produção diária de lodo variou significativamente entre as estações, em função das diferentes vazões e tecnologias de tratamento empregadas. A Tabela 2 apresenta os resultados consolidados.

Tabela 2 – Estimativa da produção diária de lodo nas ETEs avaliadas.

ETE	Sistema de tratamento	Prod. de lodo (kg SST/d)	Volume de lodo (m³/d)
São João/Navegantes	Lodos ativados convencional	1.850,35	140,74 (cru)
Rubem Berta	Lodos ativados – aer. prolongada	299,51	0,79 (seco)
Parque do Arvoredo	Lodos ativados – batelada	109,26	0,29 (seco)
Sarandi	Lodos ativados – aer. prolongada	266,89	0,88 (seco)
Chácara das Nascentes	MBBR (lodos ativados)	23,28	0,05 (seco)
Bosque	UASB	21,22	0,07 (seco)
Serraria	UASB + lodos ativados	16.172,06	455,66 (cru)

Fonte: elaborado pela autora (2022).

A ETE Serraria destaca-se como a maior geradora de lodo, com 16.172 kg SST/dia, reflexo de sua elevada vazão afluente (2.700 L/s) e do sistema combinado UASB + lodos ativados. Os valores estimados foram validados com os dados fornecidos pelo DMAE, apresentando boa aderência para a ETE São João/Navegantes (estimado: 7,92 t/d; informado: 8 t/d) e a ETE Sarandi (estimado: 1,32 t/d; informado: 1 t/d).

5.2 Potencial de Geração de Biogás e Energia

A Tabela 3 apresenta os resultados do potencial de geração de biogás, metano e energia nas duas ETEs centrais.

Tabela 3 – Estimativa do potencial energético das ETEs centrais.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Variável	ETE São João/Navegantes (zona norte)	ETE Serraria (zona sul)
Carga SST afluente ao digestor (kg SST/d)	2.242,09	16.172,06
Carga SSV afluente ao digestor (kg SSV/d)	1.737,62	12.533,35
Vazão de biogás gerado (m³ gás/d)	825,37	5.953,34
Volume de metano produzido (kg/ano)	130.247	939.467
Energia bruta produzida diária (kWh/d)	5.135,63	37.043,01
Energia bruta produzida anual (kWh/ano)	1.874.504	13.520.699

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Os resultados mostram um expressivo potencial energético, especialmente na ETE Serraria. A relação de 0,51 kWh de energia produzida por litro de efluente tratado, encontrada no presente estudo, está coerente com a literatura, que registra valores entre 0,4 e 0,9 kWh/L para sistemas de tratamento similares.

5.3 Estimativa da Economia Financeira

O custo médio anual com energia elétrica foi estimado com base na composição das despesas de exploração do SNIS (2022), adotando 15,7% do total de operação e manutenção. A Tabela 4 apresenta a comparação entre o custo médio com energia e o valor equivalente da energia produzida pelo biogás.

Tabela 4 – Comparação entre custo com energia e valor equivalente da energia produzida.

ETE Central	Custo médio com energia (R\$/ano)	Valor equiv. energia produzida (R\$/ano)	Economia (%)
Zona norte – São João/Navegantes	R\$ 2.269.639,71	R\$ 764.141,57	33,67%
Zona sul – Serraria	R\$ 13.513.932,00	R\$ 5.511.713,04	40,79%
TOTAL	R\$ 15.783.571,71	R\$ 6.275.854,60	39,76%

Fonte: elaborado pela autora (2022).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Os resultados demonstram que o aproveitamento do biogás pode suprir aproximadamente 40% do consumo de energia elétrica das ETEs avaliadas, representando economia anual superior a R\$ 6,27 milhões. Esse resultado corrobora o exposto por Jordão e Pessoa (2017), de que a energia gerada pelo biogás, embora não atenda a totalidade do consumo da estação, é capaz de suprir parte relevante da sua demanda.

Adicionalmente, o modelo de centralização do lodo permite que ETEs de pequeno porte (com vazão inferior a 150 L/s, que individualmente não seriam viáveis) também sejam beneficiadas. Caso essas estações menores fossem excluídas, seriam desperdiçados R\$ 125.981,30 anuais, ou seja, equivalente a 35% do custo de energia elétrica dessas unidades.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as dez estações de tratamento de esgoto (ETEs) em operação em Porto Alegre, foram selecionadas sete unidades com maior geração de lodo, por apresentarem maior potencial de produção de biogás e geração de energia. Considerando diferenças significativas na produção de lodo entre as estações, optou-se por centralizar o tratamento em duas ETEs de maior porte: a ETE São João/Navegantes, na zona norte, e a ETE Serraria, na zona sul.

Os resultados indicaram que o aproveitamento energético do biogás nessas estações centrais pode suprir cerca de 40% do consumo de energia elétrica das sete ETEs avaliadas, proporcionando uma economia anual superior a R\$ 6,27 milhões. Embora não tornem as estações autossuficientes em energia, os sistemas de biodigestão contribuem significativamente para a redução dos custos operacionais.

O estudo não considerou os custos de transporte, destinação final do lodo e adaptações necessárias à implantação dos sistemas de biodigestão, mas estima-se que a centralização do tratamento reduza substancialmente essas despesas, além de gerar benefícios ambientais associados à diminuição do transporte e das emissões atmosféricas. Os resultados reforçam que o aproveitamento energético do biogás é uma alternativa promissora para aumentar a sustentabilidade econômica, energética e ambiental dos serviços de tratamento de esgoto em Porto Alegre, sendo recomendados estudos complementares de viabilidade técnica, econômica e ambiental para sua implementação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF, 2017. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acesso em: 14 jul. 2022.

ANDREOLI, Cleverson V.; SPERLING, Marcos von; FERNANDES, Fernando. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

CRVR. Central de Resíduos do Recreio. Minas do Leão, 2020. Disponível em: <https://crvr.com.br/area-de-atuacao/central-de-residuos-do-recreio/>. Acesso em: 14 set. 2022.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE); PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Dados ETE DMAE. Porto Alegre, 2022. 2 p.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (DMAE) et al. Plano Municipal de Saneamento Básico: diagnóstico. Porto Alegre, 2015. v. 1. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/pmsb_2015_volume_1_diagnostico.pdf. Acesso em: 6 jul. 2022.

GEHLING, Gino. Resíduos sólidos industriais. Porto Alegre, 2020. 8 p. Notas de aula.

IBGE. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. [S.l.]: 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>. Acesso em: 20 jul. 2022

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

METCALF & EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580555240/>. Acesso em: 14 jul. 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES et al. Panorama e potencial de crescimento da produção de biogás e biometano no Sul do Brasil: nota técnica. Brasília, DF, out. 2020. Disponível em: <https://datasebrae.com.br/wp-content/uploads/2021/09/121K-Panorama-e-potencial-de-crescimento-da-producao-de-biogas-e-biometano-no-Sul-do-Brasil-Nota-Tecnica.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2022.

PROBIOGÁS. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás. 1. ed. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico temático: serviços de água e esgoto – gestão administrativa e financeira: ano de referência 2020. Brasília, DF, mar. 2022.

SPERLING, Marcos von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. rev. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1996. v. 1.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br



13º Simpósio
Internacional de
Qualidade Ambiental

Tecnologias Ambientais e Inovação

23, 24 e 25 de setembro de 2026

VALENTE, Vitor Bortolozzo. Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil. 2015. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br