

## **POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA DE EFLUENTES DOMÉSTICOS COM BAIXA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO E SÓLIDOS VOLÁTEIS: ANÁLISES EM TERMOS DE CARACTERÍSTICAS MUNICIPAIS**

### **Laís Alves Souza<sup>(1)</sup>**

Mestre em Ciências da Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente (IEE) na Universidade de São Paulo (USP). Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista 'Júlio, de Mesquita Filho' (UNESP). Atualmente está como Assessora de Planejamento na Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) desde 2019.

### **Ildo Luís Sauer<sup>(2)</sup>**

Professor universitário, desde 2011, atua no Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP). Especialista na área de energia, coordenador do no Centro de Análise, Planejamento e Desenvolvimento de Recursos Energéticos (CPLEN), com ênfase em organização da indústria de energia e organização da produção e apropriação social da energia, atuando principalmente nos seguintes temas: planejamento energético, modelos de demanda e recursos e oferta de energia, entre outros.

### **Alice Akemi Tagima<sup>(3)</sup>**

Mestranda em Energia no Instituto de Energia e Ambiente (IEE/CPLEN) na Universidade de São Paulo (USP). Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' (UNESP).

### **Samantha Christine Santos<sup>(4)</sup>**

Pesquisadora na área de Bioprocessos e Assuntos Regulatórios no Instituto de Energia e Ambiente (IEE/CPLEN) na Universidade de São Paulo (USP), atua em projetos nacionais e internacionais. Suas contribuições estão relacionadas ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias de conversão de biomassa, geração de compostos em biorrefinarias, na recuperação energética de resíduos, no monitoramento e controle de biosistemas em escala laboratorial e piloto.

### **Júlia Carolina Bevervanso Borba Ferrarese<sup>(5)</sup>**

Aluna de mestrado do Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/ USP), Bacharel em Química pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). Atualmente é técnica administrativa junto ao Centro de Análise, Planejamento e Desenvolvimento de Recursos Energéticos (CPLEN- IEE/USP)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-010 – Brasil - Tel: +55 (11) 3091-2500 - e-mail: aslais@alumni.usp.br.

## **RESUMO**

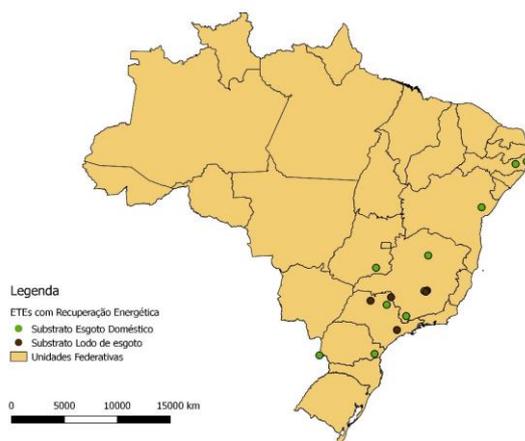
O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) do Brasil indica a meta de se atingir a universalização do acesso ao saneamento básico até 2033. No entanto, no Brasil, os efluentes domésticos possuem apenas 45% a 55% do total é coletado e tratado. Diante desse cenário, percebe-se a necessidade de ampliar os serviços de coleta e tratamento de efluentes, principalmente em Estados com infraestrutura precária. A recuperação energética dos efluentes domésticos pode servir de incentivo para reverter esse quadro, reduzindo custos com a utilização do biogás para geração de energia. Além disso, os projetos de recuperação de energia a partir de resíduos impulsionam o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs), como o Objetivo 3: saúde e bem-estar, o Objetivo 6: água limpa e saneamento e o Objetivo 7: energia limpa e acessível. Assim, o estudo visa analisar as principais variáveis relacionadas às características do substrato e seus impactos no potencial de produção de biogás. O estudo utiliza amostras de efluentes domésticos do Estado do Maranhão. Ao avaliar as principais características dos municípios, o estudo indica uma tendência de certos municípios apresentarem baixa concentração de carbono em suas efluentes domésticos, indicando mais dificuldades na implantação de soluções de recuperação energética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluentes domésticos, recuperação energética, biogás.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, apenas 45% a 55% do volume nacional de esgoto doméstico é coletado e tratado (ANA, 2017; SNIS, 2017). Diante desse cenário, é urgente expandir não só a coleta de esgoto, mas também os serviços de tratamento, pois estão diretamente relacionados à saúde pública e à qualidade de vida da população local. Nessa perspectiva, para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), soluções como uso do esgoto doméstico como substrato para produção de metano, podem fornecer uma alternativa de valor agregado a esta fonte, com recuperação de energia e consequentemente geração de calor e energia (Nações Unidas, 2019).

A comparação entre as dimensões demográficas do país e seu potencial de geração de energia a partir dos efluentes domésticos indica que o número de usinas existentes e em construção atualmente é significativamente pequeno em relação ao seu potencial. Além disso, a maioria dos projetos adaptados para aproveitamento de energia de efluentes domésticos concentra-se nas regiões Sul e Sudeste do país, como apresentado na Figura 1, abaixo.



**Figura 1 - ETEs com recuperação energética no Brasil.**

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019; CIBIOGAS, 2019; UNFCCC, 2019; ABIOGAS, 2020.

Portanto, este trabalho analisa o potencial de aproveitamento energético de efluentes domésticos no Estado do Maranhão, Brasil, com foco no aproveitamento do biogás. Os principais motivos da escolha do Estado do Maranhão se devem por se tratar de um dos Estados com menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do país (IBGE, 2017), com baixa taxa de coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2019), e onde se supõe que as adversidades para o uso da recuperação de energia a partir dos efluentes domésticos devam ser mais explícitas e desafiadoras.

## OBJETIVO

O objetivo do estudo é esclarecer as condições e características que influenciam a recuperação energética do tratamento de efluentes domésticos, analisando o potencial de substrato da produção de biogás e os aspectos municipais.

## METODOLOGIA UTILIZADA

No desenvolvimento do estudo utilizou a Revisão de literatura, com o intuito de analisar as contribuições de pesquisas no restante do mundo. Para avaliar o potencial do biogás, a presente pesquisa utilizou como estudo de caso o Estado do Maranhão e o substrato amostras da entrada de quatro diferentes Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em quatro diferentes municípios do Estado. Por fim, buscou relacionar os resultados obtidos com as características do demográficas e sanitárias dos municípios.

### Revisão da literatura

A revisão da literatura utiliza o *Archival Research Method* (ARM) (Searcy e Mentzer, 2003). Além disso, se utilizou uma revisão sistemática em conjunto com o ARM. Essa abordagem define as etapas da revisão da literatura e facilita a sistematização e replicação dos resultados (Sampaio, R F; Macini, 2007). O método de busca de arquivos, adotado por Sanches-Pereira et al. (2016), define como a maioria das referências bibliográficas são selecionadas e distribuídas ao longo dos anos. Entre todo o conteúdo, por meio da revisão da literatura, foi definida a fórmula utilizada para o cálculo do Potencial Teórico do Metano (TMP) (Moukakis; Pellerá; Gidaracos, 2018; Pellerá; Gidaracos, 2016):

$$TMP[mL CH_{4STP}/g VS] = 22.4 \cdot \left[ \frac{\left(\frac{a}{2} + \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4}\right)}{12a + b + 16c + 14d + 32e} \right] \cdot 1000 \quad (1)$$

### Estudo de caso

O estudo de caso foi baseado em nas características demográficas e sanitárias de todo o Estado e nos efluentes domésticos coletadas em quatro Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em 4 diferentes municípios do Estado do Maranhão, seguindo a metodologia de estudo de caso descrita por Yin (2014). As ETE1, ETE2, ETE3 e ETE4 foram caracterizadas de acordo com os seguintes parâmetros: pH (unidades), demanda química de oxigênio (DQO) (g O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), sólidos totais (TS) (g L<sup>-1</sup>), sólidos voláteis (VS), sólidos fixos (FS) (g L<sup>-1</sup>) (APHA, 2017) e porcentagem de compostos elementares (nitrogênio, carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre) (%) (método de Pregl-Dumas, condutividade térmica detector, Perkin Elmer 2400 série ii). A partir dos resultados das amostras o potencial de metano foi calculado.

## RESULTADOS OBTIDOS

A seleção das ETEs definiu quatro grupos e foram coletadas amostras nos seguintes municípios, representantes de cada um destes grupos: Codó, Coroatá, Miranda do Norte e São Luís, que correspondem à ETE1, ETE2, ETE3 e ETE4, respectivamente. A coleta foi realizada de 05 a 07 de outubro de 2019, período de estiagem do ano no Maranhão, onde se supõe que o esgoto seja mais concentrado. As características dos substratos da ETE1, ETE2, ETE3 e ETE4, foram determinadas conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1. Características de todas as quatro amostras de efluentes domésticos.**

PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE	SUBSTRATO			
			ETE1	ETE2	ETE3	ETE4
C	Método de Pregl-Dumas	%	23.94	11.20	8.73	18.94
H	Método de Pregl-Dumas	%	3.62	2.14	1.98	3.43
N	Método de Pregl-Dumas	%	1.96	1.23	0.63	2.08
S	Método de Pregl-Dumas	%	2.07	4.07	4.06	2.43
DQO	APHA. <i>Standard Methods for the</i>	mgO <sub>2</sub> /L	515	335	430	343



PARÂMETROS	TÉCNICA ANALÍTICA	UNIDADE	SUBSTRATO			
			ETE1	ETE2	ETE3	ETE4
	<i>Examination of Water and Wastewater. 21 th ed. Washington, 2005 (Method 5220 – D).zz</i>					
pH	Direto, Potenciométrico	-	7.03	7.09	7.47	7.03
Sólidos Totais	APHA. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 th ed. Washington, 2005 (Method 2540 – B e 2540 – C).</i>	mg/L	880	880	2020	620
Sólidos Voláteis	APHA. <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 th ed. Washington, 2005 (Method 2540 – B e 2540 – C).</i>	mg/L	440	280	520	260
SV/TV	-	%	50.00	31.82	25.74	41.90

Cidades das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE): ETE1: Codó; ETE2: Coroatá; ETE3: Miranda do Norte; ETE4: São Luís.

O cenário de coleta e tratamento de efluentes no país, aliado à possibilidade de geração de energia a partir do tratamento desses efluentes, poderia envolver diversos impactos positivos se o potencial do biogás fosse significativo. No caso dos efluentes coletados e analisados, a partir do cálculo do potencial de produção de biogás é possível avaliar, de forma preliminar, o cenário para o uso desta tecnologia. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Potencial Teórico de Metano (TMP).**

MUNICÍPIOS	TMP (ml CH <sub>4</sub> /g SV)
<b>Codó (ETE1)</b>	65,165
<b>Coroatá (ETE2)</b>	-112,302
<b>Miranda do Norte (ETE3)</b>	-145,382
<b>São Luís (ETE4)</b>	0,923

Fonte: Autores.

A partir de Tabela 2, observa-se que o potencial de geração de biogás varia entre os municípios, sendo positivo apenas nos Municípios de Codó e de São Luís. Correlacionando as Tabelas 1 e 2, observa-se que os municípios com maior concentração de Carbono e Sólidos Voláteis, são aqueles que apresentam possível menor diluição da matéria orgânica e, conseqüentemente, maior potencial de produção de biogás.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nas regiões Norte e Nordeste, localidades com as menores taxas de cobertura de saneamento e conseqüentemente um dos mais baixos Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil (IBGE, 2017), são poucas as usinas existentes para aproveitamento de energia de esgoto, o que pode ser o resultado das características locais do substrato, como baixa concentração de carbono, e também investimentos insuficientes em soluções de saneamento.

Os resultados do potencial teórico de biogás indicam que apenas amostras com concentração de carbono superior a 19% e percentual de SV / ST (%) superior a 42% são capazes de produzir biogás, conforme

representado pelas amostras da ETE1 e ETE4. Devido aos resultados obtidos para o potencial do biogás nas quatro amostras, percebeu-se que a concentração de carbono inferior a 19% poderia dificultar a produção do biogás. Assim, em agosto de 2020, também período de estiagem do ano, foi realizada outra coleta de amostra, apenas na ETA4 (São Luís) e filtrada por filtração a vácuo, para concentração da amostra e consequente aumento do percentual de carbono, para futuros estudos.

## CONCLUSÃO/ RECOMENDAÇÕES

Por meio dos resultados, em uma perspectiva preliminar, o estudo apresenta as seguintes conclusões. Em primeiro lugar, além dos resultados obtidos, as condições reais e a maior quantidade de água residual disponível na ETE podem melhorar ou diminuir a produção de biogás, dependendo das condições locais. Em segundo lugar, os municípios brasileiros enfrentam muitas barreiras, que envolvem a ausência de infraestrutura e investimentos na coleta de esgoto e também em ETEs, o que pode prejudicar a qualidade do substrato e impactar o potencial do biogás. Em terceiro lugar, esses resultados apontam que o número de habitantes pode não impactar diretamente na concentração do esgoto, caso o sistema de coleta apresente falhas, como integração clandestina entre sistema de drenagem pluvial e problemas com água salobra entrando no sistema de esgoto na maré alta, como ocorre em São Luís. Novas análises sobre o impacto da concentração de carbono e sólidos voláteis estão em andamento, com o objetivo de indicar soluções em maior escala para melhorar e aumentar o aproveitamento da recuperação energética de efluentes domésticos no país. As principais vantagens dessas soluções são o incentivo à ampliação do escopo do serviço de saneamento; a redução dos problemas de saúde pública; a geração de energia; e a contribuição direta e indireta para alcançar muitos ODS.

O entendimento sobre os principais vetores que dificultam o desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento energético a partir dos efluentes domésticos pode possibilitar o aumento do interesse de investimentos em águas residuais e ampliação do tratamento e melhores sistemas de coleta ou utilização de tecnologias adaptadas. Por esse motivo, a relevância da presente investigação abrange as condições, do potencial de aproveitamento energético dos efluentes domésticos, com foco no aproveitamento do biogás e apontando um estado que apresenta dificuldades explícitas e severas, como o Estado do Maranhão no Brasil. Os resultados também podem beneficiar outros estados do país, que podem enfrentar condições semelhantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agência Nacional de Águas - ANA, 2017. Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas.
2. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2019. Banco de Informações de Geração (BIG) [WWW Document]. Banco de Informações de Geração. URL <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> (accessed 10.10.18).
3. APHA - American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ªed.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E BIOMETANO - ABIOGAS. Usinas Saneamento Ambiental.. [S.l: s.n.], 2020
5. Breach, P.A., 2018. *Wastewater Treatment Energy Recovery Potential For Adaptation To Global Change: An Integrated Assessment*. Environ. Manage. 624–636. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-0997-6>
6. CIBiogás, C.I. do B., 2019. Panorama do biogás no Brasil em 2018.
7. Dalmo, F.C., Carolina, A., Jimenez, M., Nebra, S., Martins, G., Palacios-Bereche, R., Henrique, P., Sant, D.M., 2019. *Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State Brazil* 212. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.016>
8. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística - IBGE, 2017. Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC 2017.
9. Kumar, A., Samadder, S.R., 2017. *A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste*. Waste Manag. 69, 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>
10. Ministério das Cidades, 2013. Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB -.
11. Rentizelas, A.A., Tolis, A.I., Tatsiopoulou, I.P., 2014. *Combined Municipal Solid Waste and biomass system optimization for district energy applications* 34, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.026>

12. Sampaio, R F; Macini, M.C., 2007. Estudos de revisão sistemática: Um guia para a síntese criteriosa da evidência científica. *Rev. bras. fisioter* 83–89. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>
13. Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., 2013. *Global , regional , and country level need for data on wastewater generation , treatment , and use*. *Agric. Water Manag.* 130, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>
14. Searcy, D.L., Mentzer, J.T., 2003. *A Framework for Conducting and Evaluating Research*. *J. Account. Lit.* 22, 130–167.
15. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 2019. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.
16. UNFCCC, 2019. Project SClean Development Mechanism (CDM) [WWW Document]. URL <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>
17. United Nations, 2019. Sustainable Development Goals [WWW Document]. URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> (accessed 10.4.19).
18. Yin, R.K., 2014. *Case study research: design and methods*. *Case Study Res. Des. Methods*.