

POTENCIAL DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS: ESTUDO DE CASO DO OESTE DO PARANÁ

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.XI-006>

Diana Elena Sosa Giménez*, Murilo Kalil Torres, Ilton José Baraldi, Evandro André Konopatzki, Elias Lira dos Santos Junior

Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTAMB). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/MD. E-mail: dianasosa1411@hotmail.com

RESUMO

A falta de diversidade na matriz energética brasileira tem se mostrado preocupante, principalmente em momentos de crise hídrica, diante desse fato, aliada a demanda da população por energia elétrica, faz-se necessário avaliar o cenário de geração de energia de um ponto de vista mais heterogêneo. O esgoto doméstico presente em estações de tratamento de esgoto, quando submetido à um processo de digestão anaeróbia, gera um complexo gasoso chamado biogás, esse gás apresenta em sua composição uma concentração de aproximadamente 70% de metano (CH₄), o qual tem um poder calorífico significativo, possibilitando sua utilização como combustível em motores de combustão interna, turbinas e microturbinas a gás. Por isso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em estações de tratamento de esgoto doméstico do Oeste paranaense. O estudo foi delimitado aos municípios que já possuem sistemas anaeróbios de tratamento. A metodologia adotada para a estimativa da produção de metano e do potencial de geração de energia elétrica foi descrita por Chernicharo *et al.* (1997), sendo utilizada a ferramenta Excel para a aplicação das equações descritas pelo modelo. Os resultados identificaram 10 municípios que possuem sistema anaeróbio de tratamento, dos quais Cascavel é o município com maior potencial de geração de energia elétrica na região avaliada, contando com 1,2713 MWh, seguido de Foz de Iguaçu com 1,1616 MWh. Foi possível perceber que os valores do potencial de geração de energia elétrica estão intimamente relacionados com os índices populacionais. Ao final da pesquisa conclui-se que o cenário de produção de energia elétrica ainda é prematuro, uma vez que o potencial de geração de energia elétrica é significativamente inferior à demanda energética de cada município. Como trabalhos futuros sugere-se avaliação de possíveis melhoras nas técnicas e tecnologias de aproveitamento energético do biogás proveniente de estações de tratamento de esgoto anaeróbias.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Renovável, Energia elétrica, Matéria orgânica, Metano, Tratamento biológico.

INTRODUÇÃO

O intenso crescimento dos centros urbanos aliado ao estilo de vida da população, tem se mostrado preocupante quando avaliado o espectro de geração de resíduos, principalmente aqueles provenientes do esgotamento sanitário doméstico. Em paralelo a esse cenário, a população brasileira demanda mais energia elétrica para a realização das atividades humanas, sejam econômicas ou domésticas, analisando essas situações, por um lado a geração de resíduos em esgotos domésticos, e por outro, a demanda por energia elétrica, tem-se buscado desenvolvimentos de técnicas e tecnologias para o aproveitamento da biomassa presentes em estações de tratamento de esgoto para geração de energia elétrica.

A digestão anaeróbia do esgoto doméstico, gera um produto final chamado biogás, esse gás tem o potencial significativo de geração de energia, uma vez que seu alto poder calorífico permite a sua queima, a qual impulsiona o funcionamento mecânico de motores geradores de eletricidade (SOARES, 2017).

A utilização da biomassa como matéria prima para a geração de energia é uma iniciativa que está alinhada com preceitos ligados a sustentabilidade, isso porque o biogás produzido é composto majoritariamente por metano (CH₄), que é um dos maiores intensificadores do efeito estufa (DALPAZ, 2019).

O biogás é um composto gasoso que apresenta substância odorantes e por isso é necessária uma atenção com os próprios reatores que armazenam esse gás, uma vez que possíveis falha no acondicionamento gerariam danos ao meio ambiente e a população local (CHERNICHARO, 2007a).

O potencial gerador de biogás em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é bastante significativo, isso porque de acordo com o Diagnóstico do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) dos Serviços de Água e Esgotos 2019 (SNIS, 2019), foram identificados 354,3 mil quilômetros de redes públicas de esgotamento sanitário, onde o volume coletado foi de pelo menos 5,8 bilhões de m³, sendo 4,5 bilhões de m³ de esgoto tratados.

Para o pleno funcionamento das ETEs públicas, são gastos em torno de $0,25 \text{ kWh/m}^3$, resultando em um consumo total de 1,4 TWh, o que é um valor considerável de consumo energético, impulsionando ainda mais a geração de energia utilizando a biomassa local, podendo tornar uma ETE autossuficiente energeticamente (SNIS, 2019).

No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz energética é pouco diversificada, sendo que a riqueza hídrica no território nacional viabilizou a implementação em grande escala de hidrelétricas, que, em caso de escassez hídrica garantiria um colapso energético.

Nesse sentido a falta de diversidade na matriz energética brasileira, principalmente em momentos de crise hídrica, aliada a demanda da população por energia elétrica, gera a necessidade de avaliar cenários de geração de energias mais heterogêneos, onde o reaproveitamento do esgoto para geração de energia elétrica pode ser uma alternativa interessante a ser estudada.

Ainda segundo o Balanço Energético Nacional, 2021 (EPE), a produção de energia elétrica a partir do Biogás teve um aumento de 15,7% quando comparado o período de 2019 a 2020. Tal aumento percentual foi bastante expressivo e otimista, porém ainda requer muitos avanços, uma vez que a energia proveniente de biogás representa apenas 0,1% de toda a energia produzida no Brasil (EPE, 2021).

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de geração de energia elétrica, a partir do biogás, dos municípios do Oeste paranaense que possuem tratamento anaeróbio de esgoto.

METODOLOGIA

A pesquisa teve caráter exploratório, ou seja, a proposta das análises realizadas faz uma reflexão sobre esse tipo de aproveitamento energético ou o que pode ser realizado acerca da utilização de biogás proveniente de esgotos domésticos para fins de geração de energia elétrica.

O trabalho foi realizado em quatro etapas distintas e complementares entre si: a identificação dos municípios alvo, a caracterização demográfica dos mesmos, seguida da caracterização do sistema de tratamento de esgoto de cada um dos municípios, e por último a estimativa da produção de gás e energia das respectivas ETE's. A estimativa seguiu a metodologia descrita por Chernicharo *et al.* (1997b). Os dados foram provenientes do ano de 2020, com exceção dos dados referentes a Carga Orgânica, a qual tem como ano base 2013, levantado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro aspecto relacionado aos municípios alvos da pesquisa foi o levantamento demográfico, pois é a partir dessa informação que se obtém quais localidades requerem maior ou menor atenção. A delimitação dos estratos da população foi segundo a Lei de Sturges, para agrupamento em intervalos de classes.

A Região Oeste do Paraná conta com uma população total de 1.322.794 habitantes, a qual representa 11,49% da população de todo o Estado. A área da mesorregião Oeste conta com uma área territorial de 22.859,762 km², correspondendo a 11,44% de toda a área do Paraná.

No mapa (figura 1), é possível perceber que há uma predominância de maiores números populacionais nos municípios de Cascavel (8), Foz do Iguaçu (16) e Toledo (47), os quais, juntos, representam 55,43% de todo o Oeste do Paraná, demonstrando expressivo percentual da população quando analisada essa mesorregião.

De todos os municípios avaliados no estudo, 92% apresentam população inferior a 50.000 habitantes. Cerca de 78% dos municípios do Oeste paranaense apresentam população inferior a 20.000 habitantes e 50% têm população entre 2.251 e 8392 habitantes. Iracema do Oeste, Iguatu e Anahy são os três municípios do Oeste paranaense com menor população, contanto com 2.251, 2.253 e 2.788 habitantes, respectivamente, representando um percentual de 0,55% de toda a população da mesorregião.

Além disso, os municípios que contam com uma população superior a 8.392 habitantes representam 25%, também representando a mesma parcela percentual de municípios, estão os que apresentam população de até 2.251 habitantes.

A mesorregião Oeste do Paraná apresenta uma média populacional de 26.456 habitantes por município, representando um valor populacional expressivo para a região. O coeficiente de variabilidade ou grau de dispersão relativa encontrada foi de 227%.

Considerando o volume populacional da região estudada e o mapa apresentado, pode-se perceber que existe um corredor de municípios com baixa população que fazem fronteira entre si, o que gera margem para o desenvolvimento de estudos conjuntos que relacionem a temática abordada neste trabalho.

Os dados de levantamento demográfico dos municípios, disponibilizados pelo IBGE (2020), estão dispostos na Figura 1, a qual representa, na forma de mapa, a densidade populacional de cada município avaliado no estudo.

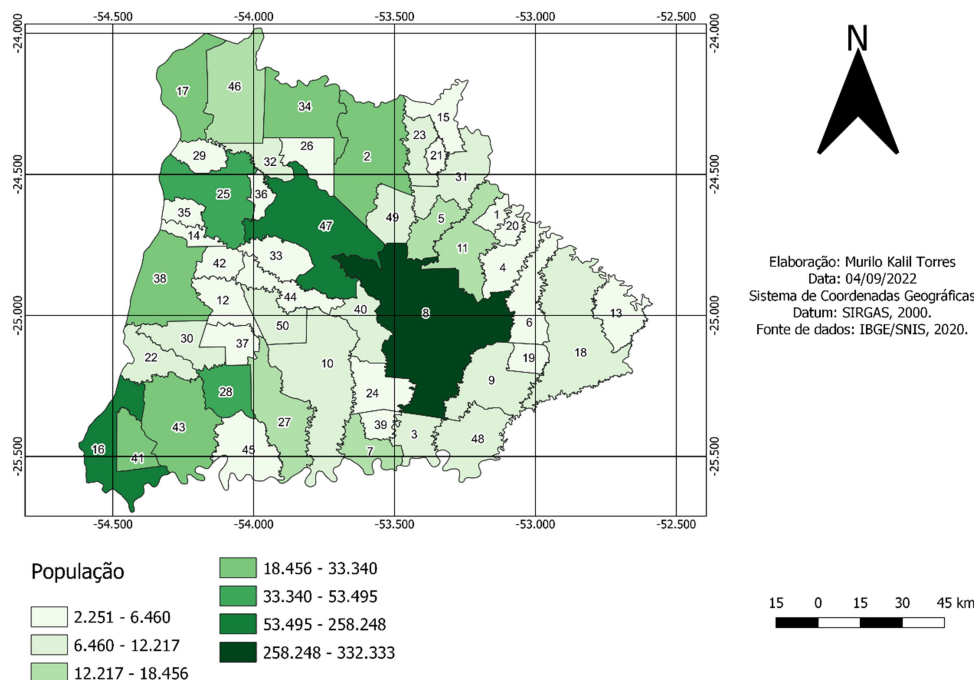


Figura 1: Mapa populacional dos municípios do Oeste do Paraná. Fonte: Torres (2022).

De todos os municípios avaliados no estudo, 92% apresentam população inferior a 50.000 habitantes. Cerca de 78% dos municípios do Oeste paranaense apresentam população inferior a 20.000 habitantes e 50% têm população entre 2.251 e 8392 habitantes. Iracema do Oeste, Iguatu e Anahy são os três municípios do Oeste paranaense com menor população, contanto com 2.251, 2.253 e 2.788 habitantes, respectivamente, representando um percentual de 0,55% de toda a população da mesorregião.

Além disso, os municípios que contam com uma população superior a 8.392 habitantes representam 25%, também representando a mesma parcela percentual de municípios, estão os que apresentam população de até 2.251 habitantes. A mesorregião Oeste do Paraná apresenta uma média populacional de 26.456 habitantes por município, representando um valor populacional expressivo para a região. O coeficiente de variabilidade ou grau de dispersão relativa encontrada foi de 227%.

Considerando o volume populacional da região estudada e o mapa apresentado, pode-se perceber que existe um corredor de municípios com baixa população que fazem fronteira entre si, o que gera margem para o desenvolvimento de estudos conjuntos que relacionem a temática abordada neste trabalho.

Na Figura 2, estão representados os municípios que apresentam sistema de tratamento de esgoto doméstico em seus territórios. Avaliando os resultados, é possível perceber que dos 50 municípios da mesorregião, 21 deles apresentam algum tipo de tratamento de esgoto doméstico, representando 42%. Se comparado com os dados populacionais, já apresentado anteriormente, percebe-se que todos os municípios com população maior de 20.000 habitantes, apresentam algum tipo de sistema de tratamento de esgoto, o que permite concluir que os municípios que não apresentam sistemas de tratamento de esgoto são aqueles com baixa população (<20.000 habitantes).

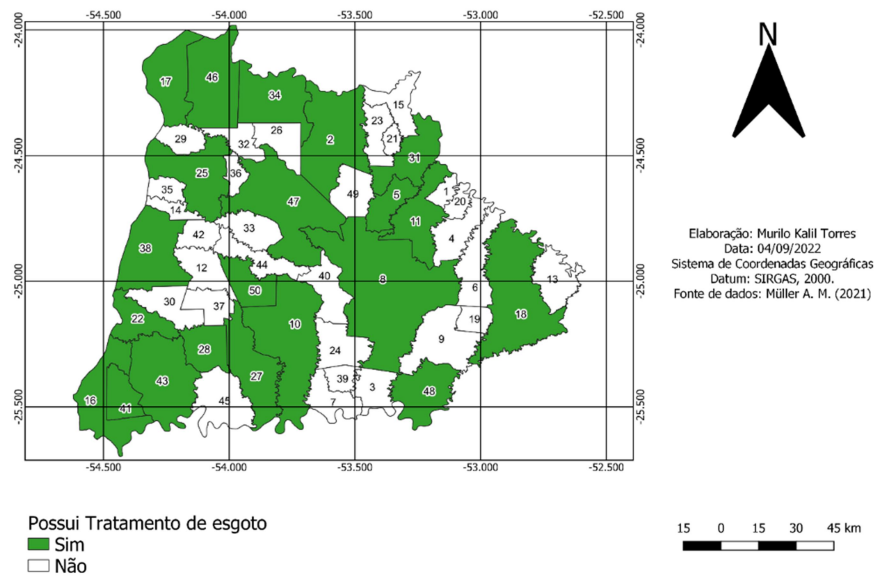


Figura 2: Mapa dos municípios do Oeste do Paraná que possuem tratamento de esgoto. Fonte: Torres (2022).

É importante destacar que os municípios sem tratamento de esgoto representam 58% de toda a mesorregião Oeste, garantindo um cenário onde a maioria dos municípios apresentam fragilidades relacionadas às questões sanitárias de tratamento de esgoto (PEREIRA, 2018).

Como o objetivo do presente trabalho é avaliar e caracterizar o potencial de geração de energia a partir do biogás produzido em estações de tratamento de esgoto estritamente anaeróbios, não se pode deixar de considerar os municípios que já apresentam esse tipo de tratamento de esgoto, como é demonstrado na Figura 3.

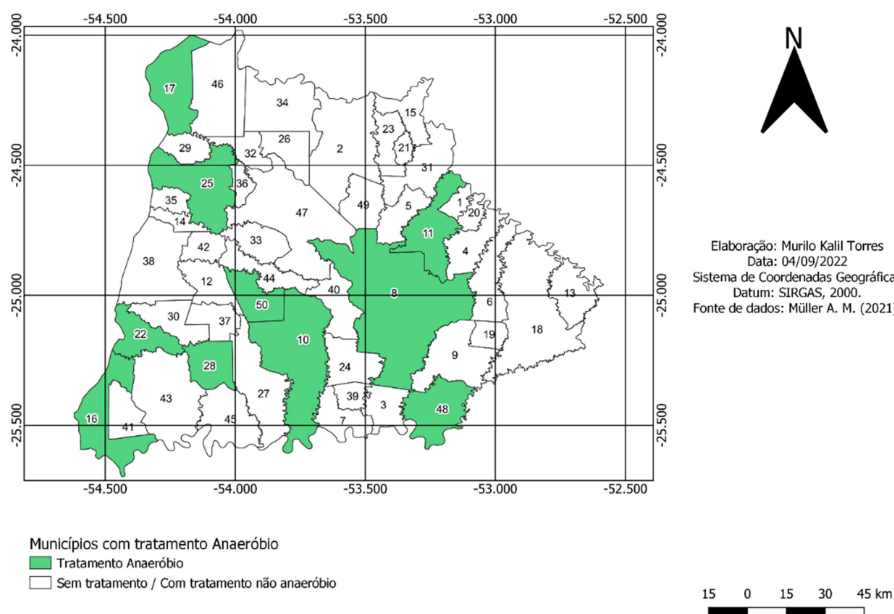


Figura 3: Mapa dos municípios do Oeste do Paraná que possuem tratamento anaeróbio de esgoto. Fonte: Torres (2022).

Quando a Figura 2 é comparada com a Figura 3, percebe-se que apenas 47,61% dos municípios apresentam estações de tratamento de esgoto com sistemas anaeróbios de tratamento, onde apenas nos municípios 8, 10, 11, 16, 17, 22, 25, 28, 48 e 50 já existe tratamento de esgoto passível de geração e captação de biogás para a produção de energia elétrica, representando 20% dos municípios do Oeste do Paraná. Vale ressaltar que 50% dos municípios com sistema de tratamento anaeróbio apresentam mais do que 20.000 habitantes, avaliação essa, permite indicar potenciais

significativos para a produção de biogás a partir do tratamento anaeróbio, sendo assim uma alternativa sustentável para a geração de energia (ARAÚJO, 2017).

Para os estudos de avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir de estações de tratamento anaeróbias, é indispensável a avaliação do volume de geração de esgoto em cada município analisado, uma vez que a estimativa do potencial de geração de metano é diretamente relacionada a esse dado (SCHEUER, 2019). Analisando o mapa (figura 4) é possível avaliar que em Cascavel (8), Foz do Iguaçu (16) e Toledo (47), há uma produção volumétrica bastante expressiva quando comparado com os demais municípios da região estudada, com volumes que se encontram no intervalo de 16.395 a 37.654 m³/dia. De modo geral, quando comparado aos dados populacionais, nota-se que a produção volumétrica de esgoto doméstico está diretamente ligada ao número de habitantes de cada município.

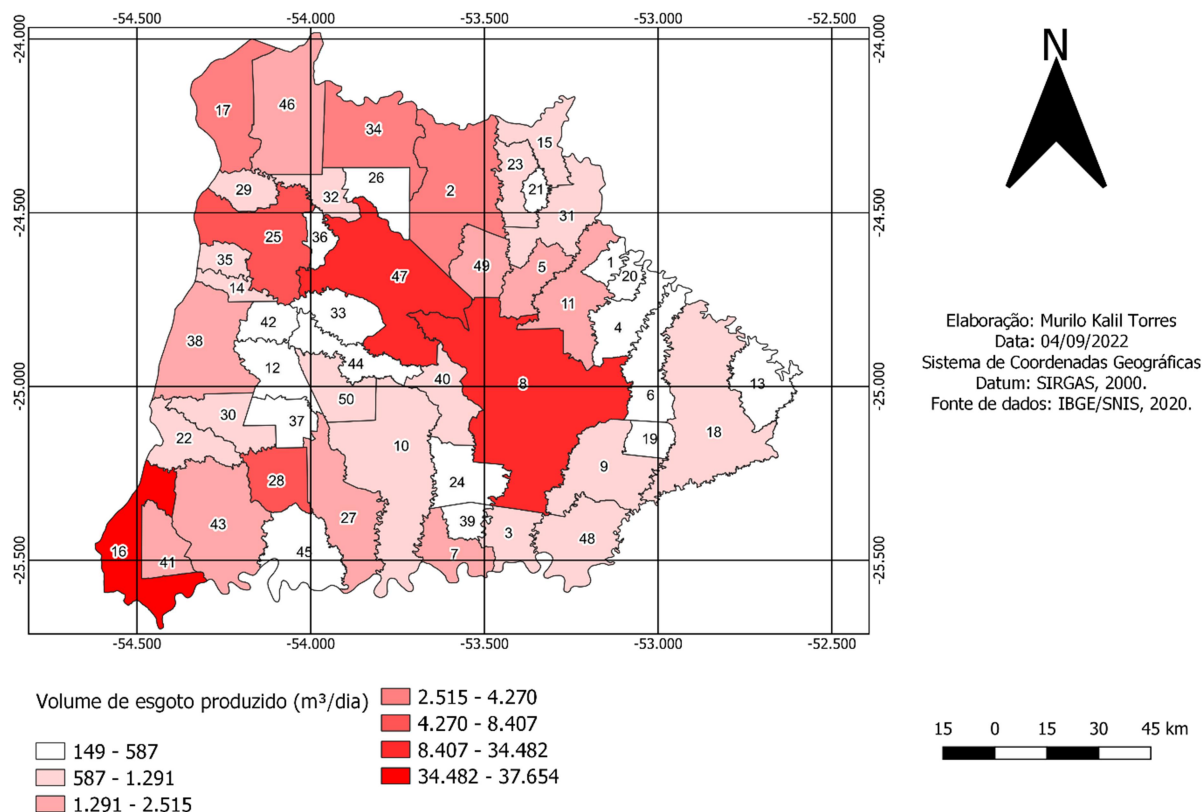


Figura 4: Mapa do volume de esgoto doméstico gerado pelos municípios do Oeste do Paraná. Fonte: Torres (2022).

Os municípios que apresentam população inferior a 20.000 habitantes apresentam uma média de produção diária de 1.276,42 m³/dia de esgoto doméstico, o que difere muito da média dos três maiores municípios da região, onde a média diária de esgoto produzido é de 29.510,33 m³/dia. A média de produção volumétrica de esgoto na região Oeste do Paraná é de 3.043,52 m³/dia e a mediana é 824,36 m³/dia, onde 84% dos municípios apresentam geração inferior à média da mesorregião para a produção desse efluente.

Os municípios que geram menos do que 587 m³/dia representam 34% de todo o cenário estudado, além de apresentarem baixa densidade populacional, com populações que variam de 6.370 (Ibema) a 2.251 (Iracema do Oeste) habitantes. Na Figura 4 estão representados os municípios da mesorregião Oeste do Paraná e suas quantificações volumétricas (m³/dia) do esgoto gerado segundo dados disponibilizados pelo SNIS (2020).

Quando avaliada a produção volumétrica de esgoto doméstico de cada municípios, percebe-se que os três municípios (8, 16 e 47) que apresentaram maior vazão diária, se somados, resultam em um percentual de aproximadamente 139% de toda a produção volumétrica dos demais municípios juntos, o que reforça ainda mais a relevância do espectro de geração de metano nos municípios mais populosos.

A seguir são apresentados os municípios que apresentam sistema anaeróbio para o tratamento do esgoto doméstico gerado, são passíveis de produção e captação do CH₄ produzido nessas ETEs. Dentre os municípios do Oeste do Paraná estudados, os que apresentam tais características são os municípios 8, 10, 11, 16, 17, 22, 25, 28, 48 e 50.

Para os cálculos de estimativa de produção de CH₄ de cada um desses municípios, foi considerado o índice de coleta de esgoto específico de cada município com tratamento anaeróbio. Os índices estão constantes na Tabela 1.

Tabela 1. Índice de coleta de esgoto de cada município. Fonte: Torres (2022).

ID	Município	Índice de coleta de esgoto
8	Cascavel	100%
10	Céu Azul	75%
11	Corbélia	60%
16	Foz do Iguaçu	80%
17	Guaira	71%
22	Itaipulândia	42%
25	Marechal Cândido Rondon	20%
28	Medianeira	41%
48	Três Barras do Paraná	63%
50	Vera Cruz do Oeste	74%

A Figura 5 representa a produção volumétrica de CH₄ estimada para os municípios que apresentam sistemas anaeróbios para o tratamento de esgoto doméstico.

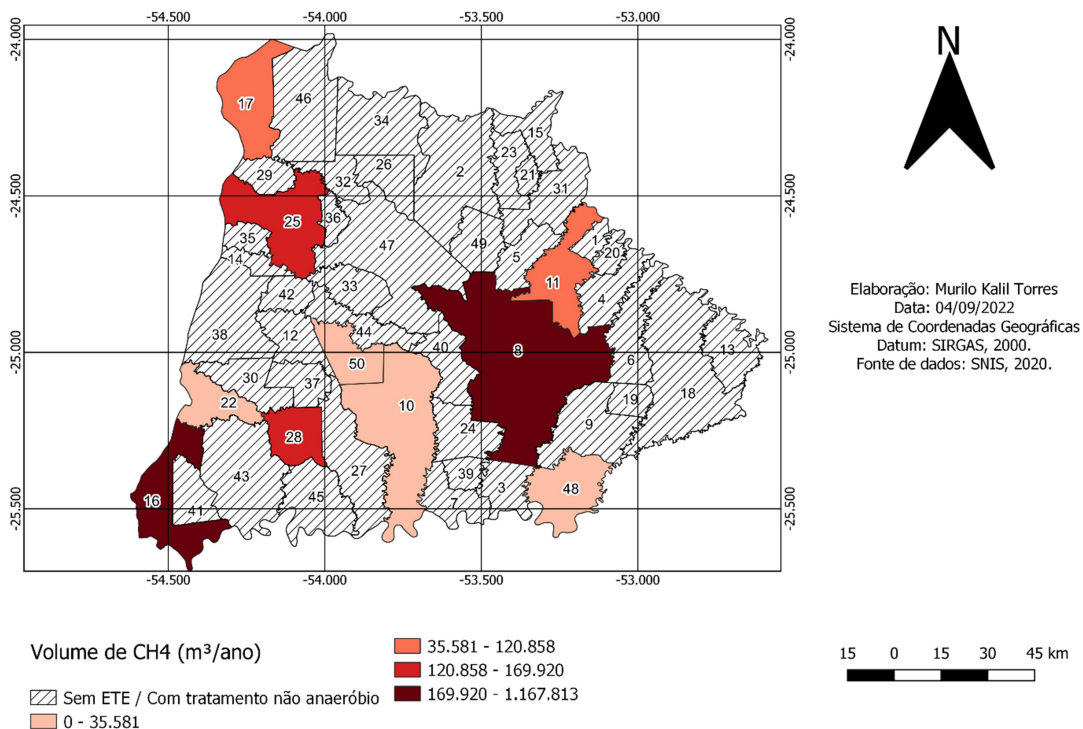


Figura 5: Mapa da produção volumétrica de metano dos municípios com tratamento anaeróbio. Fonte: Torres (2022).

No mapa, estão hachurados os municípios que não apresentam estações de tratamento de esgoto ou estações de tratamento de esgoto não anaeróbio, já os municípios com tratamento anaeróbio de esgoto apresentam colorações relativas ao intervalo das classes definidas no mapa.

Avaliando o mapa apresentado na Figura 5, percebe-se que dos 50 municípios estudados, apenas 10 apresentam sistemas de tratamento de esgoto que possibilitam a produção e captação de CH₄, o que representa apenas 20% do Oeste paranaense. Porém vale ressaltar que esses mesmos 20% de municípios, juntos produzem 2.855.850,9 m³/ano de CH₄, representando 45,63% de toda o potencial de produção da mesorregião.

Tal análise permite concluir que uma pequena parcela da região Oeste do Paraná, apresenta alto potencial de geração de CH₄ proveniente do esgotamento doméstico, o que demonstra um cenário de alta potencialidade de geração de metano para a região inteira. A população atendida por ETE com sistema de tratamento anaeróbio é de 784.773 habitantes, representando 59,33% de toda a população da mesorregião Oeste do Paraná. Além disso, dos 10 municípios que apresentam esse sistema de tratamento de esgoto, 5 deles apresentam população inferior a 20.000 habitantes, os quais são municípios de pequeno porte.

O mapa (figura 6) apresenta um cenário onde os municípios que apresentam sistemas anaeróbios para o tratamento de esgoto estão rodeados por municípios que não apresentam tratamento de esgoto ou apresenta algum tipo de tratamento diferente do anaeróbio. Tal fato permite considerar a análise da viabilidade da unificação de ETE entre os municípios hachurados no mapa, possibilitando assim um maior aproveitamento do esgoto gerado pela região como um todo.

O cenário do potencial de geração de energia elétrica dos municípios com tratamento anaeróbio já existente garante demonstrar o real potencial de aproveitamento energético do biogás, uma vez que a técnica para o tratamento do efluente doméstico já proporciona a geração desse gás (DA SILVA LOBATO, 2011).

Como já demonstrado anteriormente, os municípios que apresentam esse tipo de sistema de tratamento de esgoto são os municípios 8, 10, 11, 16, 17, 22, 25, 28, 48 e 50 como apresentado na Figura 6.

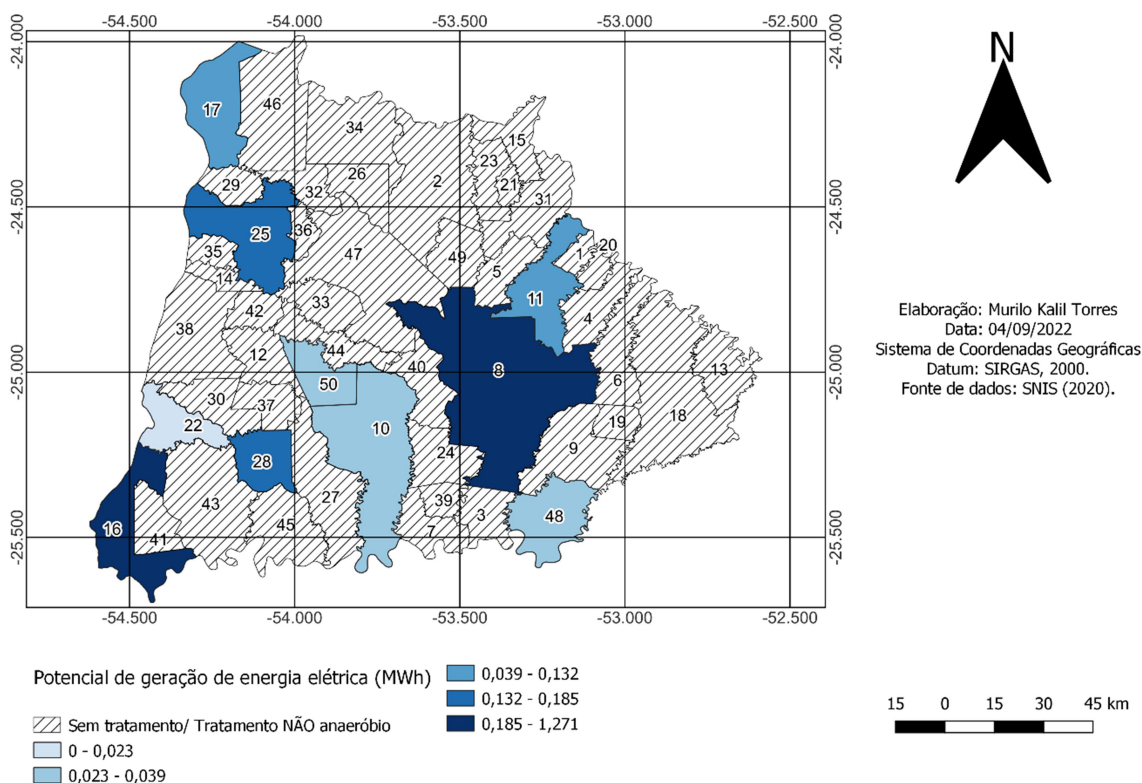


Figura 6: Mapa do potencial de geração de energia elétrica dos municípios com tratamento anaeróbio. Fonte: Torres (2022).

Percebe-se que os municípios com os maiores potenciais para esse cenário foram Cascavel (8) e Foz do Iguaçu (16), o que era um resultado esperado, uma vez que o potencial de geração de energia elétrica está diretamente ligado à produção volumétrica de esgoto, que por sua vez está relacionada com o número de habitantes, visto que Cascavel e Foz

do Iguaçu são os municípios com maiores populações quando comparado com os demais municípios que apresentam sistema anaeróbio de tratamento de esgoto.

Como síntese do resultado, na tabela 2 são apresentados os potenciais de geração de energia dos municípios com tratamento anaeróbio.

Tabela 2. Potencial de geração de energia por tratamento anaeróbio. Fonte: Autor do trabalho (2022)

Município	Produção de CH ₄ (m ³ /ano)	Potencial de geração de energia elétrica (MWh)	Consumo do município (MWh)	Geração/consumo
Cascavel	1.167.813,15	1,2713	848.680	0,000150%
Céu Azul	35.580,57	0,0387	50.566	0,000077%
Corbélia	58.867,29	0,0641	44.352	0,000144%
Foz do Iguaçu	1.066.964,62	1,1616	583.151	0,000199%
Guaíra	120.857,71	0,1316	76.073	0,000173%
Itaipulândia	21.192,08	0,0231	45.243	0,000051%
Marechal Cândido Rondon	169.919,82	0,1850	265.449	0,000070%
Medianeira	160.906,42	0,1752	206.958	0,000085%
Três Barras do Paraná	25.522,09	0,0278	30.120	0,000092%
Vera Cruz do Oeste	28.227,14	0,0307	17.686	0,000174%

Cascavel apresenta o maior potencial de geração de energia elétrica de 1,2713 MWh, a qual representa 65,28% do potencial de todos os municípios que apresentam tratamento anaeróbio de esgoto doméstico, seguida de Foz do Iguaçu que apresenta um potencial de geração de energia elétrica de 1,1616 MWh, representando 23,74% dos demais municípios.

Os demais municípios que também possuem índices populacionais inferiores apresentam um potencial de geração ainda menor. Uma forma de otimizar o potencial de geração de energia elétrica proveniente do biogás das ETE seria a centralização de redes de tratamento de esgoto, isso garante que os efluentes domésticos produzidos por esses municípios sejam destinados a estações de tratamento unificadas, possibilitando uma maior coleta de efluente, gerando assim maiores volumes de metano e consequentemente energia elétrica.

Ao observar os valores expressos na Tabela 2, pode-se perceber que o potencial de geração de energia elétrica garante uma pequena produção com relação ao consumo dos municípios. Conforme relatado em diversas pesquisas acerca do potencial do aproveitamento energético do biogás proveniente da biomassa, é sabido que esse tipo de fonte energética ainda é incipiente no cenário nacional, porém tem mostrado avanços otimistas (Agência Brasil, 2020).

CONCLUSÕES

Conclui-se através dos estudos realizados que os municípios dessa mesorregião que apresentaram maiores potenciais de geração de energia elétrica foram Cascavel, Foz do Iguaçu e Toledo. Tal relação está estreitamente relacionada com os aspectos populacionais, uma vez que esses três municípios apresentam as maiores populações do Oeste do Paraná.

Por fim, é possível concluir que o cenário do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em estações de tratamento estritamente anaeróbias é prematuro quando comparado com a demanda energética de cada um dos 50 municípios estudados, porém esse estudo serve como ferramenta de otimização de tecnologias que viabilizem o aproveitamento energético em estações de tratamento de esgoto anaeróbias no Oeste do Paraná.

Uma importante consideração a ser prestada é o favorecimento ao cumprimento da Agenda 2030, sobretudo, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7) que trata da geração de energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos. Além disso, para o cumprimento da Agenda 2030, o Brasil deve focar em expandir a infraestrutura e o aprimoramento de tecnologias para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis, além de que a utilização para a geração de energia elétrica da biomassa carbonácea presente em esgotamento sanitário contribui diretamente para a disseminação de saúde pública de qualidade e também para a conservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2013.
2. AGÊNCIA BRASIL. Produtos da Biomassa representaram 9% da energia elétrica em 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-12/produtos-da-biomassa-representaram-9-da-energia-eletrica-em-2018>. Acesso em: 04 nov. 2022.
3. ARAÚJO, A. Caixeta *et al.* Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. 2017.
4. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). 2019.
5. DALPAZ, Ricardo *et al.* **Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica.** 2019. Dissertação de Mestrado. PPGSAS; Sistemas Ambientais Sustentáveis.
6. DA SILVA LOBATO, L. C. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. 2011.
7. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional. Relatório Síntese 2022.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 24 jul. 2023.
8. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5. Belo Horizonte – MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. 2ª ed., 2007a. 380 p.
9. CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios.** Belo Horizonte – MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, ed. 1, v. 5, 1997b.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas territoriais (2021).** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 04 nov. 2022.
11. SCHEUER, A. Geração de energia elétrica a partir de biogás produzido em estações de tratamento de esgoto. 2019.
12. SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. *Nativa*, v. 5, p. 522-528, 2017.
13. TORRES, M. K. Potencial energético do biogás: estudo de caso do esgoto doméstico do Oeste Paranaense. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
14. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Pacto Global (2015).** Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/pg/oportunidades> Acesso em: 24 jul. 2023.
15. PEREIRA, L. G.. O tratamento de esgoto em Ouro Preto: aspectos históricos e técnicos dos séculos XIX ao XXI. 2018.