



ANÁLISE DAS EMISSÕES EVITADAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE METANO NA REGIÃO SUL DO BRASIL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E ABASTECIMENTO DE FROTA VEICULAR

Willian César Nadaleti (*), Vitor Alves Lourenço, Eduarda Gomes de Souza, Anderson Corrêa, Anais França de Matos

* Universidade Federal de Pelotas williancezarnadaletti@gmail.com

RESUMO

No que tange a urgência de descarbonizar a matriz energética da região Sul, o metano tem grande potencial para se tornar um vetor energético importante na redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). O objetivo do estudo foi quantificar o potencial de produção de metano a partir de digestão anaeróbia de biomassa, além da energia química e eletricidade. Avaliou-se também as emissões evitadas com o abastecimento de frota veicular usando o biocombustível, considerando os seguintes cenários: 1) uso de 10% e 2) uso de 50% da produção de cana de açúcar na região Sul do Brasil. No Cenário 1 foi determinado um potencial de $1,45E+08$ m³ de metano (CH₄) a ser gerado anualmente, enquanto o Cenário 2 resultaria em $7,27E+08$ m³. O potencial de energia elétrica determinado para o Cenário 2 foi de $4,68E+09$ KWh/ano e para o Cenário 1 $9,37E+08$ KWh/ano. Ainda, a energia química produzida atingiu $3,75E+10$ MJ/ano e $7,49E+09$ MJ/ano. O trabalho demonstrou as emissões evitadas substituindo diversas fontes de energia elétrica a partir do CH₄ e também substituindo diesel pelo uso do metano (CH₄) como combustível para frota de ônibus municipal. O cenário mais conservador mostra o valor de $1,36E+08$ tCO₂e/ano e o cenário alternativo de $6,81E+09$ tCO₂e/ano. Por fim, o estudo incentiva o debate para uma transição sustentável da matriz energética da região Sul, promovendo segurança energética.

PALAVRAS-CHAVE: Produção de metano; Energia renovável; Emissões evitadas; Energia elétrica; Abastecimento de frota de ônibus.

ABSTRACT

Regarding the urgency of decarbonizing the energy matrix of the South region, methane has great potential to become an important energy vector in the reduction of greenhouse gases (GHG) emissions. The objective of the study was to quantify the potential for methane production from anaerobic digestion of biomass, in addition to chemical energy and electricity. We also evaluated the emissions avoided with the supply of vehicular fleet using the biofuel, considering the following scenarios: 1) use of 10% and 2) use of 50% of the sugar cane production in the South region of Brazil. In Scenario 1 a potential of $1.45E+08$ m³ of methane (CH₄) to be generated annually was determined, while Scenario 2 would result in $7.27E+08$ m³. The electric energy potential determined for Scenario 2 was $4.68E+09$ KWh/year and for Scenario 1 $9.37E+08$ KWh/year. Also, the chemical energy produced reached $3.75E+10$ MJ/year and $7.49E+09$ MJ/year. This paper demonstrated the emissions avoided by replacing several sources of electricity with CH₄ and also by replacing diesel with the use of methane (CH₄) as fuel for the municipal bus fleet. The most conservative scenario shows the value of $1.36E+08$ tCO₂e/year and the alternative scenario $6.81E+09$ tCO₂e/year. Finally, the study encourages the debate for a sustainable transition of the energy matrix in the South region, promoting energy security.

KEY WORDS: Methane production; Renewable energy; Avoided emissions; Electric energy; Bus fleet supply.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais vêm causando severos impactos no meio ambiente e na população humana, com isso, é fundamental fazer uma transição de uma matriz energética de combustíveis fósseis para uma matriz energética voltada ao desenvolvimento sustentável, com a implementação de novas tecnologias de energia renováveis livres de carbono, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e conter o aquecimento global (Muradov; Veziroğlu, 2008). Diante de tais problemáticas, as discussões sobre os problemas ambientais e a demanda e consumo de energia vêm aumentando, sendo foco de diversos debates mundiais, com o propósito de uma maior utilização de energias limpas e renováveis como forma de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e consequentemente a poluição que eles geram (Da Guarda et al., 2020).

O Brasil é considerado um país rico em recursos renováveis para geração de energia, como eólica, solar, pequenas centrais hidrelétricas e biocombustíveis. Segundo o Balanço Energético Nacional 2020, a matriz elétrica brasileira foi composta no ano de 2019 pelo setor hidrelétrico representando 64,9%, gás natural 9,3%, biomassa 8,4%, derivados de petróleo



2,0%, carvão e derivados 3,3%, eólica 8,6%, nuclear 2,5% e solar 1,0%. Com destaque para a participação da bioenergia na matriz energética brasileira, com aumento estimado em aproximadamente 18% até 2030, e ao programa de etanol de cana-de-açúcar, que conta com mais de 350 unidades industriais, gerando 950.000 empregos, acarretando ganhos ambientais e sociais (Anuário, 2016).

A cana-de-açúcar é considerada uma importante fonte para a produção de biocombustíveis, em especial o bioetanol, o qual possui uma porcentagem adicionada ao combustível fóssil para uso de automóveis, sendo estimado uma redução de mais ou menos 37% nas emissões de gases de efeito estufa com sua utilização, quando comparado ao uso do combustível sem o incremento do bioetanol (Sameeroddin et al., 2021).

Por muito tempo o bagaço da cana-de-açúcar era considerado um resíduo sem valor agregado, mas isso mudou e esse resíduo tornou-se uma eficiente matéria-prima para a indústria sucroalcooleira, com contribuição para geração de receita, atingindo a comercialização do excedente de energia elétrica (Lima et al., 2020). Além do mais, Mendieta et al., (2021), ressaltam que o bagaço pode ser utilizado em processos de digestão anaeróbia, o qual consiste em um processo bioquímico em um ambiente sem oxigênio, que converte matéria orgânica em biogás, que é um gás rico em metano que pode ser utilizado como energia, e um digerido que pode ser utilizado como fertilizante no solo. Conforme Cunha Junior e Giacaglia (2018), o biogás é alcançado por meio da decomposição anaeróbia de matéria orgânica sendo constituído principalmente de CH_4 e CO_2 . A energia gerada pelo biogás rico em metano é renovável e pode ser usada para diversos fins (Yousef, 2018), (Santos, 2018). Na busca de uma fonte limpa e sustentável de energia, o metano gerado poderia ser utilizado como um vetor energético que auxiliaria no processo de descarbonização da matriz energética da região Sul.

No que tange às emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) no setor de energia corresponderam em 2019 por 19% do total de emissões do Brasil, o que resultou em um aumento de 1,1% comparado com 2018, indo de 409,3 milhões para 413,7 milhões de tCO_2 . O crescimento em 2019 se deveu a um aumento no consumo de energia elétrica, que levou ao acionamento de termelétricas a gás mesmo num cenário de chuvas dentro da média para as hidrelétricas, e de um aumento no uso de diesel devido à operação do transporte de cargas (ALBUQUERQUE et al., 2020). Segundo o Balanço Energético Nacional (MME,2020), o setor de transporte pelo segundo ano consecutivo supera a indústria em consumo de energia, tornando-se assim responsável por 32,7% de todo consumo energético do país. A participação de energias renováveis no setor de transporte apresentou gradativo aumento nos últimos relatórios do BEN, composto por etanol e biodiesel que se deve à política de adição deste combustível no diesel fóssil, que atingiu 11% em volume (B11) em 2019.

Nesse contexto, a substituição do diesel pelo metano no setor de transportes bem como seu uso para geração de energia elétrica contribuiria significativamente na redução de GEE nestes segmentos. Em âmbito regional, somente na região Sul no ano de 2019 foi emitido mais de 60,8 milhões toneladas de CO_2 e devido ao uso de combustíveis fósseis. O transporte rodoviário é um dos maiores responsáveis pela geração dos GEE no setor. Ainda, de acordo com Pereira et al. (2020) as emissões de GEE para o Diesel apresentou maiores taxas de emissão entre os anos 2007 a 2015 ($130,48 \pm 15,11 \text{ mtCO}_2$), seguido pela Gasolina ($76,47 \pm 16,49 \text{ mtCO}_2$) e o Etanol hidratado apresentando $15,15 \pm 3,41 \text{ mtCO}_2$.

Para estimular o uso de formas de energia mais limpas, empenhos governamentais e não governamentais mundiais procuram substituir combustíveis e fogões tradicionais por tecnologias menos poluentes com o intuito de reduzir a emissão e, com isso, abrandar a qualidade do ar em termos ambientais, proteger a saúde e reduzir os efeitos climáticos (World Liquefied Petroleum Gas Association, 2018). Portanto, a aplicação da cana-de-açúcar na digestão anaeróbia para produção de metano configura-se em uma alternativa a fim de evitar impactos ambientais negativos decorrentes tanto do uso do diesel na frota de ônibus municipal quanto de outras fontes de energia no caso da geração de eletricidade.

OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi quantificar o potencial de produção de metano a partir de digestão anaeróbia de biomassa, além da energia química e eletricidade. Avaliou-se também as emissões evitadas com o abastecimento de frota de ônibus usando o biocombustível, considerando os seguintes cenários: 1) uso de 10% e 2) uso de 50% da produção de cana de açúcar na região Sul do Brasil.

METODOLOGIA

No presente estudo, primeiramente foi realizado um levantamento de dados no Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sobre a quantidade de cana-de-açúcar produzida na região sul do Brasil destinada para a produção de etanol.

Para obtenção de um resultado realista, conservador e otimista, foram considerado dois cenários para estudo, com 10 e 50% da cana de açúcar destinada atualmente para a produção de metano via digestão anaeróbia na região Sul do país.

Para a determinação do potencial de produção de metano via digestão anaeróbia, foram utilizadas duas metodologias, a de Metcalf & Eddy (2003) e a UNFCCC do IPCC (International Panel on Climate Change. Climate Change 2012), no qual realizou-se uma média entre os valores encontrados nos cálculos das duas metodologias utilizadas, as quais são apresentadas a seguir:



Metcalf & Eddy (2003)

Onde:

X_m : acumulação de DQO (kgDQO.m³);

DQO_{af} : DQO afluyente no reator, em (kgDQO.m³);

DQO_{ef} : DQO efluente no reator, em (kgDQO.m³);

DQO_{SSV} : DQO associado à matéria orgânica volátil em suspensão no reator, em (kgDQO.m³);

DQO_{CH_4} : quantidade de oxigênio necessária para oxidar completamente o metano a dióxido de carbono e água, igual a 0,35, em (m³CH₄(kgDQO⁻¹)).

Volume ocupado por 1 mol de gás metano considerando a temperatura do reator, demonstrado na Equação 2:

$$V_{CH_4} = \frac{nRTz}{P} \quad (2)$$

Onde:

V_{CH_4} : volume ocupado por 1 mol de gás metano, em L;

n : número de mols de metano;

R : constante de gás ideal (atmL(molK)⁻¹), igual a 0,082057;

T : temperatura (K);

Z : fator de compressibilidade do metano;

P : pressão (atm).

Desvio da idealidade de um gás real, a Equação 3:

$$Z = \frac{V_{Real}}{V_{Ideal\ gas}} \quad (3)$$

Onde:

V_{Real} : volume molar real calculado a partir da equação de estado de Van der Waals;

$V_{Gás\ Ideal}$: volume molar ideal de metano.

DQO equivalente convertido em metano sob condições anaeróbicas, segue Equação 4:

$$CH_{4\ equivalent} = \frac{V_{CH_4}}{O_{CH_4}} \quad (4)$$

Onde:

$CH_{4\ equivalente}$: metano equivalente a DQO convertido, em (m³CH₄(kg.DQO)⁻¹);

O_{CH_4} : quantidade de oxigênio necessária para oxidar 1 mol de metano, igual a 64 em (gDQOmol⁻¹).

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} * CH_{4\ equivalente} \quad (5)$$

Onde:

Q_{CH_4} : produção de gás metano (m³.d⁻¹).

UNFCCC. IPCC (2012)

$$Q_{CH_4} = Q_{ef} * DQO_{ef} * B_{O_{CH_4}} * MCF * CFU * \eta_{DQO} \quad (6)$$

Onde:

Q_{CH_4} : produção de gás metano, em kgCH₄/h, divisão da equação (6) por 0,656, em m³/h;

Q_{ef} : vazão do efluente de cada indústria (m³h⁻¹);

DQO_{ef} : DQO do efluente de cada indústria (kgDQOm⁻³);

$B_{O_{CH_4}}$: capacidade máxima de produção em massa de metano, igual a 0,25, em (kgCH₄(kgDQO)⁻¹);



MCF : fator de correção do metano, referente a reatores anaeróbios, reatores UASB e reatores de leito fixo, igual a 0,8.

CFU : fator de correção devido à incerteza, igual a 0,9;

η_{COD} : eficiência de remoção de DQO para reatores UASB, igual a 0,7.

Para quantificação do potencial de produção de energia elétrica e química gerada a partir do metano, foram aplicadas as Equações 7 e 8:

$$EE_{CH_4} = CE_{CH_4} * \eta_{MEE} * CE \quad (7)$$

Onde:

EE_{CH_4} : Produção de energia elétrica a partir do metano, em kW.d⁻¹;

η_{MEE} : eficiência elétrica do grupo gerador CHP, em% / 100, igual a 0,45;

CE : fator de conversão de MJ para kWh.

$$CE_{CH_4} = Q_{-CH_4} * LCP_{CH_4} \quad (8)$$

Onde:

CE_{CH_4} : produção de energia química a partir do metano, em MJ.d⁻¹;

Q_{CH_4} : vazão média de metano, em m³.d⁻¹;

LCP_{CH_4} : menor poder calorífico do metano, em MJ. m⁻³.

Por fim, foram avaliadas as emissões evitadas quando utilizado o metano para produção de energia elétrica, além disso, foram determinadas as emissões evitadas por veículo considerando o uso do metano para abastecimento veicular substituindo o diesel.

De acordo com Nadaleti (2017), a frota total de ônibus municipal que pode ser abastecida pela quantidade de metano gerada diariamente:

$$FS = \frac{F_{CH_4}}{V_{G,d} * D_2} \quad (9)$$

Em que:

FS : frota potencial;

F_{CH_4} : produção diária de metano em aterros, (Nm₃.dia⁻¹);

D_2 : distância diária percorrida por ônibus, (km.dia⁻¹);

$V_{G,d}$: consumo médio de metano pelo motor do ônibus(Nm₃.km⁻¹).

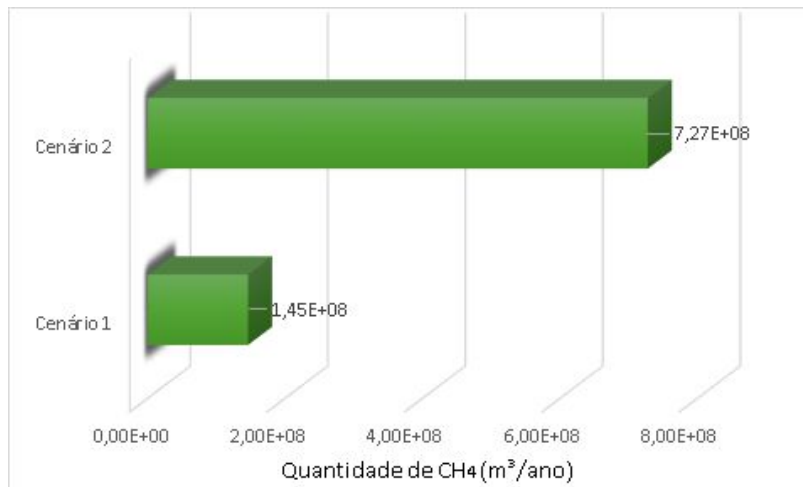
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cana de açúcar é a matéria-prima mais explorada no Brasil para produzir etanol e para cada litro de etanol são produzidos cerca de 12 L de vinhaça, portanto, o país tem alta produção de vinhaça. A vinhaça tem um alto índice de poluição potencial, sendo considerado um resíduo sólido. Esta é utilizada atualmente para fertirrigação da cana-de-açúcar (Neto, 2009), contudo se esta for aplicada inadequadamente pode causar impactos ambientais negativos como a lixiviação de íons para águas profundas ou escoamento superficial, contaminando águas superficiais e solo (Martins, 2011), (Cortes-Rodríguez, 2018). Em âmbito nacional, Nadaleti et al. (2020) investigou o potencial de produção de metano e eletricidade a partir da vinhaça de cana-de-açúcar no país e obteve resultados favoráveis com potencial para gerar 3,53E+07 m³.d⁻¹ de metano e 2,27E+08 kWh.d⁻¹ de energia elétrica.

O potencial obtido neste trabalho foi determinado com base no percentual da cana de açúcar destinada para produção de etanol, cerca de 55,23% (MME,2020). Os resultados apresentados a seguir são equivalentes a média dos dados obtidos através duas metodologias utilizadas em dois cenários distintos, sendo o primeiro mais conservador que o segundo (Gráfico 1):



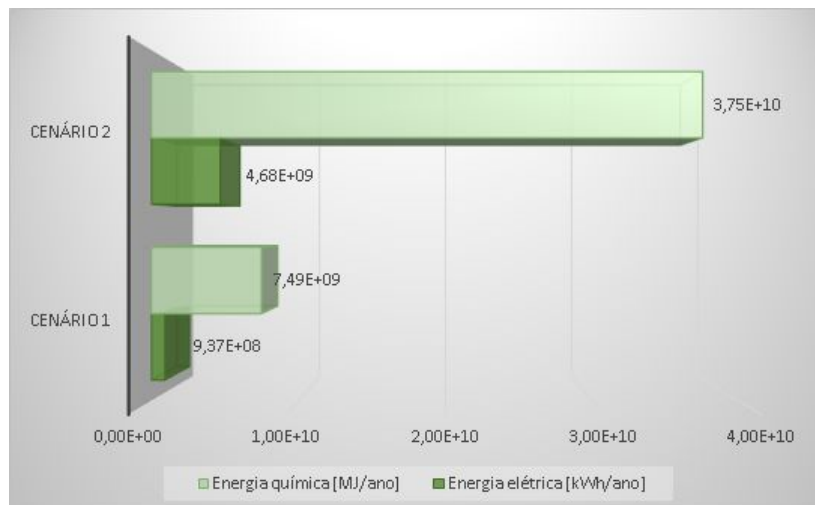
Gráfico 1. Quantidade de CH₄ gerada anualmente em m³.



No Cenário 2 a quantidade de CH₄ a ser gerada de 7,27E+08 m³ por ano ultrapassa os valores da produção de metano de origem de outra matéria prima tradicional da região, os dejetos animais. Esta fonte de energia contribui como um dos principais atores na geração de energia elétrica na região sul, no ano de 2019 este valor foi de 146.835 Gwh correspondendo à 24,4% da participação energética no Brasil (MME,2020).

O Gráfico 2 apresenta a estimativa do potencial de energia elétrica e química a partir da quantidade de CH₄ gerada em cada cenário.

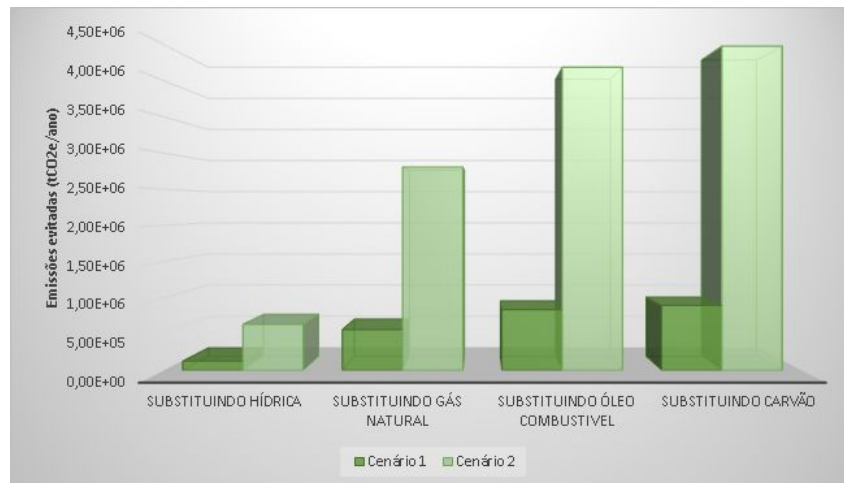
Gráfico 2. Energia elétrica (kWh/ano) e química (MJ/ano) gerada a partir do CH₄.



Visto que o consumo médio de energia elétrica em uma residência localizada na região sul do país é de 250 kWh por mês, dada essas informações: o cenário 1 conseguiria suprir o total de 312.333 domicílios por um ano, e no segundo cenário abasteceria 1.560.000 moradias por ano (Abraão, 2021).

Em concordância com FRIDLEIFSSON et al. (2008), para gerar 1 MWh de energia elétrica no Brasil a partir da fonte hidráulica emitiria 0,1355 tCO₂e. Caso a energia gerada fosse com gás natural a emissão seria de 0,599, com óleo combustível de 0,893 e com carvão 0,955 tCO₂e. Haja vista disso, o Gráfico 3 representa a quantidade de emissões que poderiam ser evitadas se ocorresse a substituição destes tipos de energia pelo amplo uso do CH₄.

Gráfico 3. Emissões evitadas considerando a produção de energia elétrica a partir do metano.

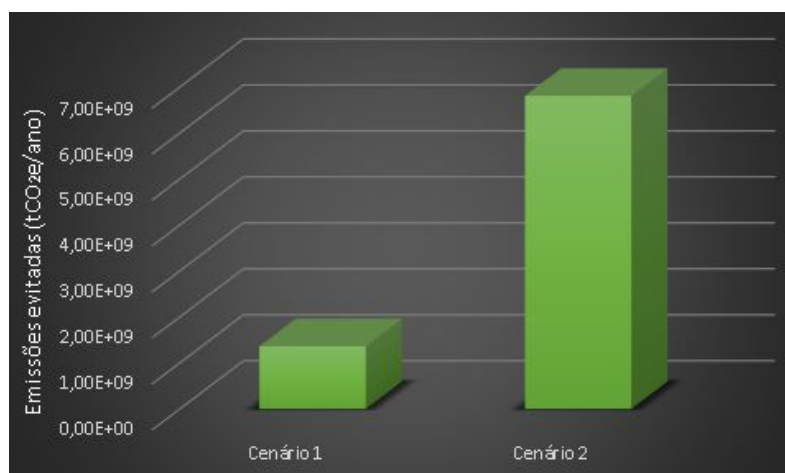


Dessa forma, a substituição do carvão mineral e óleo combustível por CH₄ resultou nos maiores índices de emissões evitadas equivalente a 8,37E+05 tCO₂/ano e 8,95E+05 tCO₂/ano, comparando com as outras fontes energéticas. O CH₄ ainda se mostra significativamente menos poluente do que energia hídrica e o gás natural evitando uma quantidade de emissões igual a 1,27E+05 tCO₂/ano e 5,61E+05 tCO₂/ano, respectivamente, nos cenários mais conservadores.

O total de importação nacional de eletricidade no ano de 2019 foi equivalente a 2.163 10³ tep (EPE, 2019). Nesse contexto, a região Sul poderia desempenhar um papel fundamental incluindo uma fonte de energia limpa no sistema e suprindo parte da demanda de energia elétrica que é importada e conseqüentemente promovendo maior segurança energética para o país com impactos positivos na sociedade, economia e no meio ambiente. Haja vista que esta mudança promoveria uma transição energética mais sustentável na região, além de estar alinhada com os princípios de economia circular na busca de uma fonte de energia limpa (Clark et al., 2016). A biomassa é altamente significativa na economia circular em termos de produtos materiais e o fornecimento de energia. Uma bioeconomia circular requer biomassa sustentável como garantia que o ciclo de restauração está concluído e pode ser concluído indefinidamente (SHERWOOD, 2020).

Há diversas possibilidades de aplicação do metano, considerando seu uso como combustível, este tem grande potencial de suprir a energia requerida para substituição do diesel por exemplo. Para que ocorra a transição energética em um local, é necessário algumas mudanças na matriz energética da região. A substituição do diesel pelo CH₄ é uma mudança que reduziria significativamente as emissões de CO₂, considerando os investimentos em pesquisa, esforços públicos e privados para implementar um sistema eficiente de produção, armazenamento e transporte do elemento. Por último, foram estimadas as emissões evitadas quando o diesel é substituído pelo CH₄ para abastecer a frota de ônibus municipal. Os resultados expostos no Gráfico 4 foram divididos em dois cenários. No Cenário 1 foi determinado um potencial de abastecimento de 960 veículos com CH₄ e no segundo cenário cerca de 4802 veículos.

Gráfico 4. Emissões evitadas utilizando o metano para abastecimento da frota de ônibus municipal.





Assim, os valores obtidos referente às emissões evitadas assumindo a utilização do CH₄ como combustível para frota de ônibus no cenário mais conservador foi de 1,36E+08 tCO₂e/ano e de 6,81E+09 tCO₂e/ano no cenário seguinte. Isso auxiliaria a mitigar o impacto negativo causado pela frota de ônibus municipal, como no estado do Rio Grande do Sul que em 2019 emitiu 1,31 milhões toneladas de CO₂e, e no Paraná onde este número atingiu 1,95 milhões toneladas de CO₂e no mesmo ano (IPCC, 2015). Ainda, estudos atuais focam na substituição de ônibus movidos a diesel por ônibus movidos a hidrogênio (H₂) o que torna ainda mais vantajosa a produção de metano para esta finalidade, visto que através do mecanismo de reforma a vapor é possível gerar H₂ (FONSECA, 2010).

CONCLUSÕES

O Cenário 1 apesar de ser mais conservador, supre a demanda com certa performance quando levada a possibilidade de contribuir na matriz energética anual do território. O Cenário 2 agrega mais participação no que tange a geração de energia elétrica para a região com 4,68E+09 KWh/ano, não descartando a participação do Cenário 1 que contribuiria em menor parte atingindo o valor de 9,37E+08 KWh/ano. Em relação ao potencial de energia química os resultados são de 3,75E+10 MJ/ano e 7,49E+09 MJ/ano respectivamente. Além disso, os resultados das emissões evitadas utilizando o CH₄ como substituto de diversas fontes de energia elétrica foi positivo. Ainda, substituindo o diesel pelo CH₄ na frota de ônibus municipal obteve-se 1,36E+08 tCO₂e/ano no Cenário 1 e 6,81E+09 tCO₂e/ano no Cenário 2 de emissões evitadas.

O metano é um importante vetor energético que auxiliaria no processo de transição energética da região e do país, sendo um dos combustíveis alternativos mais promissores na pesquisa atualmente. Ainda, recomenda-se realizar uma análise econômica da viabilidade do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrahão, K. C. de F. J. Souza, R. G. V de. **Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000200532>
2. Albuquerque, I. et al. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do clima do Brasil**. 1970-2019. 2020.
3. Associação dos Fabricantes de Automóveis da Europa (ACEA). **Differences Between Diesel and Petro**. 2016. Disponível em <https://www.acea.be/news/article/differences-between-diesel-and-petrol>.
4. Aung TW, Jain G, Sethuraman K, Baumgartner J, Reynolds C, Grieshop AP, Marshall JD, Brauer M. **Health and Climate-Relevant Pollutant Concentrations from a Carbon-Finance Approved Cookstove Intervention in Rural India**. Environ Sci Technol. 2016 Jul 5;50(13):7228-38. doi: 10.1021/acs.est.5b06208. Epub 2016 Jun 15. PMID: 27253693.
5. Baird, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
6. **Balço energético nacional, Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis, ano base 2019**, Rio de Janeiro, Maio de 2020, Ministério de Minas e Energia.
7. **Balço energético nacional, relatório síntese, ano base 2019**, Rio de Janeiro, Maio de 2020, Ministério de Minas e Energia.
8. Bühring, G. M. B. **O Biogás e a Produção de Suíno do Sul do Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis. v.5, n.2, p.222-237, 2016.
9. Clark, J. H. et al. **Circular economy design considerations for research and process development in the chemical sciences**. Green Chemistry, v. 18, n. 14, p. 3914-3934, 2016.
10. Cortes-Rodríguez, E.F. Fukushima, N.A. Palacios-Berech, R. et al. **Vinasse concentration and broth evaporation system integrated to the conventional ethanol production process from sugarcane – Heat integration and impacts in cogeneration system**. Renewable Energy. V. 115, p. 474-888, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.036>.
11. Cunha, R. R.; Junior, E. G.; Giacaglia, C. P. **Desenvolvimento de sistema de controle e automação de gasômetro para quantificação e armazenamento de biogás**. Revista Ciências Exatas, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2018.
12. Da Guarda, E. L. A., Domingos, R. M. A., Jorge, S. H. M., Durante, L. C., Sanches, J. C. M., Leao, M., & Callejas, I. J. A. (2020). The influence of climate change on renewable energy systems designed to achieve zero energy buildings in the present: A case study in the Brazilian Savannah. Sustainable Cities and Society, 52, 101843.
13. FONSECA, Amanda Carolina Barbosa et al. Substituição dos ônibus movidos a diesel por ônibus não-poluentes movidos a hidrogênio na UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 6, n. 2, 2010.
14. Feitosa, M. H. A. **Estudos prospectivos do biogás: uma fonte de energia para o desenvolvimento sustentável**. Revista Somma | Teresina, v.5, n.1, p.88-101, jan./jun. 2019 ISSN: 2447-701X
15. Frank, J. et al. **Introdução a exploração e produção de hidrocarbonetos**. Rio de Janeiro: Campus - Esclvier, 2012.



16. Fridleigsson, I. B.; Bertani, R.; Huenges, E.; Lund, J. W.; Ragnarsson, A.; Rybach, I. **The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change.** In: O. Hohmeyer and T. Trittin (Eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Proceedings, Luebeck, Germany, 2025 January 2008, 59-80. Disponível em: http://grsj.gr.jp/iga/iga-files/Fridleifsson_et_al_IPCC_Geothermal_paper_2008.pdf.
17. Fuser, I. **Etanol: o “verde” que engana.** International Centre for Trade and Sustainable Development. V. 4, N. 3, 2008.
18. IBGE, 2018. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA.** Produção Agrícola Municipal – PAM, 2018. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.
19. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de Veículos.** Brasília, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php> Acesso em: 28 de Agosto de 2020.
20. IPCC, **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Fifth Assessment Report: Climate Change. Geneva, SWZ, 2015.
21. Lima, J. V. A. **Inventário dos poluentes atmosféricos veiculares dos estados brasileiros.** 2017. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017
22. Lima, João Victor Abreu de et al. **Inventário dos poluentes atmosféricos veiculares dos estados brasileiros.** 2017.
23. Martins, R. Olivette, A.M.P. Nachiluk, K. **Sustentabilidade: novos desafios e oportunidades para a produção paulista de cana-de-açúcar: Informações Econômicas.** Instituto de Economia Agrícola (IEA) V. 41 (2011). São Paulo.
24. Mendieta, O., Castro, L., Rodríguez, J., & Escalante, H. (2020). Efeito sinérgico da escória da cana-de-açúcar como co-substrato acelerador na co-digestão anaeróbia com resíduos de culturas agrícolas do setor agroindustrial não centrífugo da cana-de-açúcar. *Bioresource technology*, 303, 122957.
25. Metcalf & Eddy, Inc., **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse,** McGraw - Hill Book 4 (2003) 181. New York.
26. Muradov, N. Z., & Veziroğlu, T. N. (2008). “Green” path from fossil-based to hydrogen economy: an overview of carbon-neutral technologies. *International journal of hydrogen energy*, 33(23), 6804-6839.
27. Nadaleti, W. C. **Aproveitamento de Biogás, Hidrogênio e Gás de Síntese no Setor de Transporte Público e Agroindustrial de Arroz: Estudo de Potencial Energético de Resíduos e Emissões de Poluentes.** 2017. 235 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
28. Nadaleti, W. C. Lourenço, V. A. Filho, P. B. Santos, G. B. Przybła, G. **National potential production of methane and electrical energy from sugarcane vinasse in Brazil: A thermo-economic analysis.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*. V. 8, I. 2, p.103-142, 2020.
29. Neto, A. E. Shinta, K. U. A. PIO, A. A. B. et al. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria.** ANA – Agência Nacional de Aguas; FIESP – Federação das Industrias do Estado de Sao Paulo, UNICA – Uniao da Industria da Cana-de-Acucar; CTC – Centro de Tecnologia Canavieira (2009). Brasília.
30. Pereira, T. F., Muniz, C. C., Junior, E. S. O. **Emissões de CO2 em Mato Grosso por veículos automotores.** *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. v. 11 n. 3 (2020).
31. Sameeroddin, M., Deshmukh, M. K. G., Viswa, G., & Sattar, M. A. (2021). Renewable energy: Fuel from biomass, production of ethanol from various sustainable sources by fermentation process. *Materials Today: Proceedings*.
32. Santos, I. F. Vieira, N. D B. Nóbrega, L.G.B. et al. **Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement.** *Resources, Conservation & Recycling* 131 (2018) 54-63, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.012>.
33. SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa). **Emissões por setor – Energia.** Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia> Acesso em: 15 de março de 2021.
34. Sherwood, J. **The significance of biomass in a circular economy.** *Bioresource technology*, v. 300, p. 122755, 2020.
35. Simoni, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis.** 2006. 314 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
36. UNFCCC. IPCC - **International Panel on Climate Change.** Climate Change 2013: The Physical Science Basis, 2003. Disponível em: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
37. USDA, **Brazil Biofuels Annual Report 2018.** Disponível em: https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-9-2019.pdf. Acesso em: 15 de março de 2021.
38. W.C. Nadaleti, V. A. Lourenço, P.B. Filho, G.B. Santos, G. Przybła. **National potential production of methane and electrical energy from sugarcane vinasse in Brazil: a thermo-economic analysis.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8 (2020) 103422.



39. **World Liquefied Petroleum Gas Association**; Accelerating the LPG Transition: Global Lessons from Innovative Business and Distribution Models, <http://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2015/09/accelerating-the-lpg-transition-2015-light.pdf>, acessada em junho 2018.
40. Yousef, A. M. El-Maghlany, W. M. Eldrainy Y. A. Attia, A. **New approach for biogas purification using cryogenic separation and distillation process for CO2 capture**. Energy. V. 156, p. 328-351, 2018.