

Otimização da etapa de transporte do biogás oriundo de resíduos sólidos no Brasil

Optimization of the transport stage of biogas from solid waste in Brazil

RESUMO

Hyago Braga dos Santos
hyago@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Lucas Bonfim Rocha
lucasrocha@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Em vista do atual cenário com grande potencial de produção de biogás no Brasil, o presente trabalho demonstra por meio da utilização de modelagem matemática com programação linear quais os custos e rotas previstos da etapa de transporte no processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos no país para a geração desta fonte energética. De modo geral os resultados obtidos a partir da simulação proposta mostram-se satisfatórios, uma vez que o custo total anual para a etapa seria de 749 milhões de reais, sendo relativo à substituição de aproximadamente 14,6% da demanda de gás natural atualmente consumida no país, resultando em uma redução da ordem de $6,7 \times 10^9$ m³ do mesmo por ano, promovendo uma redução de danos por combustíveis fósseis ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Bioenergia. Meio Ambiente. Gás Natural. Logística.

ABSTRACT

In accordance with the current promising scenario of great biogas production potential in Brazil, the present work assesses, through the use of mathematical modeling with linear programming, the estimated costs and routes for the biogas transport stage in the process of reusing urban solid wastes in the country for the generation of this bioenergy source. In general, the results obtained from the proposed scenario are satisfactory, since the total annual cost for the stage would be 749 million BRL, being related to the replacement of approximately 14.6% of the natural gas demand currently consumed in the country, which implicates in a reduction of 6.7×10^9 m³ of natural gas per year, promoting a reduction of the environmental damages.

KEYWORDS: Bioenergy. Environment. Natural Gas. Logistics.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Presente desde os primórdios da humanidade, a biomassa desempenhou papel fundamental no desenvolvimento das nações e das indústrias, contribuindo para o desenvolvimento da sociedade conhecida atualmente. Descoberta e utilizada para produção de energia em diversas formas nas últimas décadas, a digestão anaeróbica é uma técnica a qual consiste na transformação da biomassa em combustível, mais especificamente em biogás. Embora seja um processo conhecido desde o século XIX, foi em partes esquecido e só retomado em meados da década de 1940, com a crescente necessidade de países emergentes como Índia e China de diversificarem e ampliarem suas respectivas matrizes energéticas (BOND; TEMPLETON, 2011).

Em relação à sua composição, o biogás apresenta, em geral, frações de compostos sulfurados e nitrogenados além de gás metano, gás carbônico e água (ZIRKLER; PETERS; KAUPENJOHANN, 2014). Em relação à sua aplicabilidade há uma ampla gama de opções, uma vez que, dependendo do processo empregado em sua obtenção e purificação, há a possibilidade de utilização para a geração de energias elétrica e térmica, ou ainda para a produção de combustível veicular e gás de cozinha (YASMIN; GRUNDMANN, 2019).

No atual cenário brasileiro, as principais tecnologias utilizadas para a conversão da biomassa em biogás são os biodigestores de modelos canadense e indiano, com o primeiro voltados para resíduos com maior concentração de matéria na fase líquida, enquanto o segundo modelo é voltado para biomassas com maior quantidade de sólidos totais. Na pós-produção, o biogás é coletado e, caso necessário, transportado para que se dê continuidade às etapas de tratamento, as quais são denominadas de purificação e refino, respectivamente, diferenciando-se entre si devido às características resultantes do biogás obtido ao final de cada processo.

Dentre as principais fontes de biomassa utilizadas, estão os resíduos sólidos urbanos, conhecidos também por representarem a grande parcela do lixo doméstico. Devido a alta concentração de composto orgânicos, há uma grande eficiência em usá-los no processo de decomposição e biodigestão anaeróbica; sendo o processo um aliado à gestão urbana, uma vez que sua disposição final representa um grande desafio para os gestores devido ao fato de que, caso o manejo seja realizado de maneira incorreta, acarretará uma série de prejuízos ambientais e sociais.

Consolidados os anseios ambientais e econômicos envolvidos na utilização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no processo de obtenção de biogás a partir de sua biodigestão, faz-se necessário um estudo da cadeia subjacente ao processo, a qual engloba desde a coleta do lixo gerado nos centros urbanos à disposição e uso final do biogás processado, ponto que é investigado neste trabalho. Em vista dos pontos benéficos da utilização do biogás, o presente trabalho busca estudar, modelar e otimizar a etapa de transporte do biogás produzido a partir dos resíduos sólidos no Brasil, uma vez que a mesma é primordial para um melhor aproveitamento energético do mesmo na matriz energética nacional, o que permite direcionar avaliar com uma visão macroeconômica os impactos do gerenciamento desta cadeia de suprimentos.

METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para a elaboração do modelo matemático proposto para a otimização do cenário avaliado leva em consideração dados pré-estabelecidos na literatura e em bancos de dados públicos de relatórios do Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME, 2017), que estabeleceu a nova política de biocombustíveis do país, os quais remetem às demandas energéticas adotadas para cada um dos estados brasileiros e, também, os parâmetros adotados para a conversão de biomassa em biogás.

Para a determinação das demandas a serem adotadas no modelo, foram utilizados os dados do Balanço Energético Nacional de 2018 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018), com objetivo de que todo o biogás produzido seja inserido na matriz energética a fim de substituir a utilização do gás natural para a geração de energia elétrica, sendo a escolha objetivada por anseios ambientais que levam em conta a utilização de uma fonte bioenergética em detrimento à utilização de um combustível fóssil.

Sendo assim, seguindo os parâmetros estabelecidos pela ONU (IPCC, 1997) e considerados na Eq. 1, realizou-se a estimativa do total de biogás que poderia ser obtido por meio da degradação anaeróbica dos RSU em cada um dos estados brasileiros, levando em conta os dados fornecidos pela ABRELPE (ABRELPE, 2017), os quais indicam a porcentagem de lixo coletado e enviado à aterros controlados e aterros sanitários em cada uma das unidades federativas.

$$MP_i = RSU_i \times COD \times CODF \times CFLG \times CF_{CH_4} \quad (1)$$

Por meio da qual MP representa o potencial de metano a ser produzido, RSU a quantidade de resíduos sólidos por estado, COD representa o carbono degradável presente na matéria-prima e CODF representa a fração desse carbono que pode ser degradada, CFLG a fração de metano no gás de aterro e, por fim, CF_{CH_4} indica um fator de correção entre carbono e metano

Em síntese, com enfoque principal na etapa de transporte do biogás a ser produzido, o modelo proposto avalia o cenário de acordo como modal rodoviário para a realização do mesmo, considerando a distância média entre as capitais dos estados como parâmetro para o cálculo do valor agregado à etapa, uma vez que por meio da Resolução no 5.867, de 14 de janeiro de 2020 a Agência Nacional de Transportes Terrestres (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2020) estipula os valores a serem cobrados por quilômetro percorrido, além do custo envolvido para a carga e descarga dos caminhões utilizados. Portanto, como função objetivo do custo de transporte, utilizou-se a Eq. 2, a qual permite avaliar o custo final (CF) deste processo.

$$CF = \sum_i \sum_j CT_{ij} \times NdC_{ij} \quad (2)$$

Após determinada a função objetivo, é necessário que se identifiquem os parâmetros utilizados, sendo CT o custo de transporte e NdC o número de caminhões utilizados. Sendo o número de caminhões obtido a partir da quantidade de biogás que deve ser enviada para cada Estado, por meio de carretas com capacidade para o transporte de 40 m³, sendo comprimido em até 600 vezes, de

maneira semelhante ao realizado com o gás natural liquefeito, assim como apresentado por Bendezú (2009) em seu trabalho.

Para a avaliação do custo de transporte empregou-se a Eq. 3, a qual leva em conta a distância percorrida (d), o valor a ser cobrado por km de viagem (PpK) e os custos envolvidos para carga e descarga (CeD). Por fim o modelo de otimização avaliado levou em consideração as 3 equações definidas e implementando-as no software GAMS®, com uso do solver CPLEX.

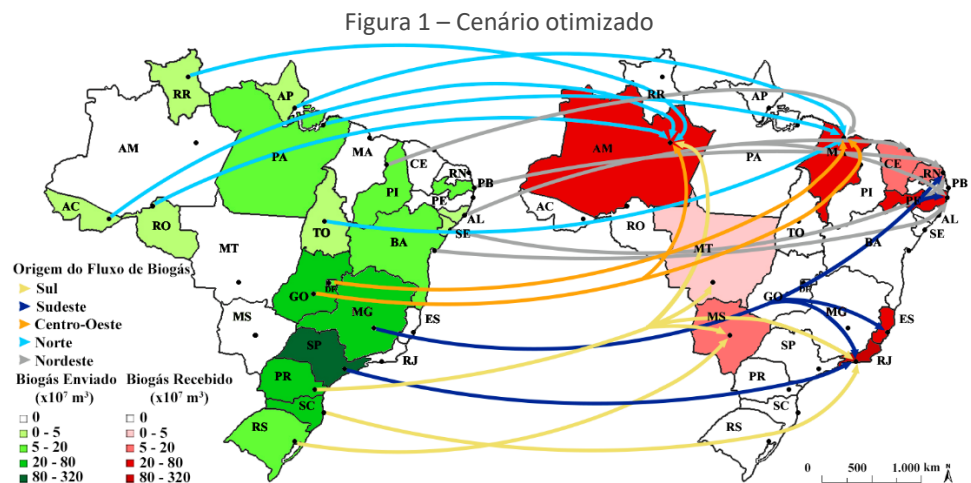
$$CT_{ij} = (d_{ij} \times PpK) + CeD \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram um fluxo intenso de biogás proveniente dos estados das regiões Sul e Sudeste, as quais, devido à densidade populacional, têm a maior produção de matéria-prima. Não obstante, a rota sugerida para o biogás produzido nessas regiões engloba todas as demais regiões do país. Por meio da análise do cenário proposto, o resultado obtido aponta para uma redução de 16,4% do consumo de gás natural em substituição pelo biogás para a geração de energia elétrica no país.

Como pode ser observado por meio da Figura 1, o estado de São Paulo apresenta-se como o maior distribuidor de biogás, o qual, a exceção do consumido internamente no estado, é enviado em sua totalidade para o Rio de Janeiro, sendo este por sua vez o maior demandante do país. É perceptível, também, que Minas Gerais e Paraná são os responsáveis pelo envio para o maior número de estados, consolidando no total oito rotas distintas, sendo quatro para cada um, responsáveis por cerca de 30 e 40x10⁷ m³, respectivamente.

Ademais, Amazonas e Maranhão somam 11 rotas para o recebimento do biogás, o qual é proveniente de todas as regiões geográficas do país. É de se notar, também, na região Norte que o envio é realizado em pequenas quantidades, isso se dá devido à precariedade das instalações de coleta e tratamento dos resíduos sólidos nesta região, somado à menor densidade populacional da mesma.



Sendo representados por meio de gradações verdes e vermelhas os estados os quais enviam e recebem o biogás, respectivamente; sendo que as regiões em branco não emitem ou demandam biogás. As setas representam, no mapa a esquerda, a origem do biogás e, no mapa a direita, o estado receptor.

CONCLUSÃO

Após a análise do cenário proposto, foi encontrado um valor ótimo de 749 milhões de reais para o sistema de transporte envolvido na cadeia de suprimentos do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos, sendo o mesmo considerado eficiente, uma vez que além de agregar à matriz energética nacional, há também reduções nos impactos ambientais potenciais por meio da disposição inadequada dos resíduos utilizados como matéria-prima.

Em relação a produção do biogás, há de ser feita a consideração de que os estados que apresentam a maior produção combinam uma alta taxa de coleta e tratamento dos resíduos urbanos e grandes populações, resultando em um maior potencial de produção de biogás subsequente, uma vez que a quantidade de matéria-prima é relativamente maior.

De modo geral, os custos relacionados à etapa estudada e analisada poderiam ser diluídos entre o estado por fomentar a expansão deste setor de bioenergia e as empresas em concordância com o consumidor final de cada estado, permitindo que o sistema não seja deficitário, consolidando, desse modo, vantagens econômicas ao Estado, uma vez que o material que seria responsável por grandes gastos envolvendo sua disposição final poderá ser reaproveitado para a geração de dividendos.

Ademais, além dos benefícios econômicos voltados à gestão pública, a utilização do modal rodoviário para o transporte de biogás possibilitaria a geração de grande número de postos de trabalho formais e informais, auxiliando no desenvolvimento progressivo do sistema socioeconômico brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**. 2017. Disponível em: abrelpe.org.br/ Acesso em: 23 jul. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, A. **Resolução nº 5.867, de 14 de janeiro de 2020**. 2020.

BENDEZÚ, M. A. L. **Avaliação Técnico-Econômico das Alternativas Tecnológicas de Transporte de Gás Natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica - PUCRIO, Rio de Janeiro, 2009.

BOND, T.; TEMPLETON, M. R. History and future of domestic biogas plants in the developing world. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 4, p. 347–354, 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2018**. Disponível em: www.epe.gov.br/ Acesso em: 23 jul. 2020.

IPCC. Chapter 6: Waste. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**, p. 32, 1997.

MME, Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. 2017. Disponível em: www.mme.gov.br/. Acesso em: 05 ago. 2020.

YASMIN, N.; GRUNDMANN, P. Adoption and diffusion of renewable energy – the case of biogas as alternative fuel for cooking in Pakistan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, n. August 2018, p. 255–264, 2019.

ZIRKLER, D.; PETERS, A.; KAUPENJOHANN, M. Elemental composition of biogas residues: variability and alteration during anaerobic digestion. **Biomass and Bioenergy**, v. 67, p. 89–98, 2014.