**PRODUÇÃO DE BIOGÁS VIA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA UTILIZANDO CASCA DE CANA-DE-AÇÚCAR: APROVEITAMENTO DE RESÍDUO**

Ivanna Franck Koschier (\*), Willian César Nadaleti, Vitor Alves Lourenço, Renan de Freitas Santos, Gabriel Borges dos Santos

\*Universidade Federal de Pelotas. E-mail: ivannafk@hotmail.com

**RESUMO**

O grande desafio global de combate à emissão de gases poluentes para a atmosfera está levando a uma busca crescente por fontes de energia renováveis, com menor potencial poluidor quando comparado às fontes não renováveis. Além dos problemas ambientais, o predomínio dos combustíveis fósseis enfrenta, cada vez mais, obstáculos como a variabilidade de preços e diminuição de disponibilidade. Nesse contexto, o biogás surge como uma das alternativas mais sustentáveis, apresentando tecnologia em estágio avançado. A produção de biogás é importante tanto para aproveitamento de resíduos agroindustriais quanto para a substituição dos combustíveis fósseis. A cana-de-açúcar, os resíduos gerados em seu processo de produção, bem como seus produtos derivados, caracterizam-se como fontes renováveis de energia com grande disponibilidade no Brasil. Visando o aproveitamento energético destas fontes, o presente estudo teve como objetivo estimar a produção de biogás através do procedimento experimental utilizando biodigestores operados em batelada alimentados com casca de cana-de-açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, biodigestão anaeróbia, resíduo orgânico, aproveitamento energético, cana-de-açúcar.

**ABSTRACT**

The great global challenge of combating the emission of polluting gases into the atmosphere is leading to a growing search for renewable energy sources with lower polluting potential when compared to nonrenewable sources. In addition to environmental problems, the predominance of fossil fuels increasingly faces obstacles, such as price variability and decreased availability. In this context, biogas appears as one of the most sustainable alternatives, presenting technology at an advanced stage. The production of biogas is important for the exploration of agro-industrial waste and for replacement of fossil fuels. The sugarcane, the waste generated in its production process, as well as its by-products are characterized as renewable energy sources with great availability in Brazil. Aiming at energy exploration of these sources, the present study had the objective to estimate the biogas production through experimental procedure using batch biodigestors fed with sugarcane bark.

**KEY WORDS:** Biogas, anaerobic biodigestion, organic residue, energy exploration, sugarcane.

**INTRODUÇÃO**

O Brasil constitui-se como maior produtor mundial de cana-de-açúcar, contando com mais de sete milhões de hectares plantados, colocando-o na liderança mundial em tecnologia de produção de etanol. O aumento de produtividade e expansão de áreas de plantio visando à produção deste combustível representa um aumento significativo do uso de fontes renováveis de energia na matriz energética do país. Além de matéria-prima para a produção de açúcar e álcool, os subprodutos e resíduos da cana-de-açúcar são utilizados para cogeração de energia elétrica, fabricação de ração animal, fertilizante para as lavouras, entre outros (EMBRAPA, 2010).

Grande parte das usinas sucroalcooleiras brasileiras tem utilizado o bagaço da cana como fonte de energia elétrica a partir da cogeração, para consumo próprio e, eventualmente, para venda do excedente produzido (PAOLIELLO, 2006). A venda do excesso produzido, porém, torna-se difícil devido aos elevados custos associados à sua própria comercialização (SOUZA & AZEVEDO, 2006).

O bagaço de cana-de-açúcar (cana sem o caldo) é o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade no Brasil, com estimativas de até 280 kg/tonelada de cana-de-açúcar moída. O fato de apresentar uma composição química essencialmente orgânica faz do bagaço uma potencial fonte de geração de energia renovável (SILVA et al., 2007).

Neste sentido, pesquisas têm sido realizadas visando a obtenção de um melhor aproveitamento energético a partir do bagaço da cana-de-açúcar e seus demais subprodutos. Uma possível alternativa para a otimização do aproveitamento energético dos mesmos constitui-se na geração de biogás através do processo de biodigestão anaeróbia. Este processo pode ser realizado em complementação ao processo de cogeração já praticado.



Projeções feitas para o setor da cana-de-açúcar mostram evolução tanto da matéria-prima quanto dos seus principais produtos derivados: açúcar e etanol. A demanda doméstica mundial continuará a apresentar crescimento, na avaliação de órgãos locais e internacionais, e deverá estimular a produção no Brasil, líder no setor de açúcar e segundo no de biocombustível, atrás apenas dos Estados Unidos da América. A produção brasileira de cana-de-açúcar deverá crescer na ordem de 2,3% ao ano, em média, na próxima década, de acordo com as projeções do agronegócio 2027/28 (Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar, 2018).

No final da safra 2017/18, com o açúcar recuando os preços e o etanol (hidratado) apresentando maior demanda e retorno, as usinas de cana-de-açúcar utilizaram mais matéria-prima para produzir o biocombustível. O direcionamento se intensificou no começo da nova safra, a partir de abril de 2018, tanto que nos primeiros três meses as unidades de produção no Centro-Sul, região que lidera no setor, mostravam crescimento de 76% no uso da cana para fabricar o hidratado, em relação ao mesmo período anterior, enquanto a quantia ofertada de anidro (adicionado à gasolina) era semelhante à do ano anterior (Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar, 2018).

No contexto do abastecimento energético global deve-se considerar o crescente valor que assume a geração de energia a partir do bagaço e de outros resíduos da lavoura da cana-de-açúcar. De maneira crescente nos últimos anos, o setor tem produzido cada vez mais energia, entregue à rede de abastecimento nacional, além de suprir suas demandas internas, tornando-se autossuficiente energeticamente, com geração de excedente (Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar, 2018).

A produção de bioeletricidade com a biomassa de cana-de-açúcar para o Sistema Interligado Nacional (SIN) atingiu 21.444 GWh (Gigawatt-hora) em 2017, com alta de 1% em relação ao ano anterior. Esse resultado representou 84% do total de 25.482 GWh de energia elétrica gerada para a rede pelos diversos tipos de biomassa (Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar, 2018).

De acordo com o último Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE/2026), a total utilização da biomassa produzida nos canaviais na safra de 2017/18 aumentaria a oferta de bioeletricidade para 144,8 TWh (Terawatt-hora) em 2017. O uso da palha geraria 78,2 Twh, do bagaço 46,0 Twh e do biogás da vinhaça 20,5 TWh. No entanto, a exportação foi de 21,4 TWh, o que representou somente 15% do potencial estimado para a safra 2017/18 (Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar, 2018).

Embora o setor sucroenergético brasileiro tenha mostrado grandes ganhos de produtividade, ainda oferece promissoras oportunidades de inovação. Algumas dessas oportunidades incluem o etanol de segunda geração (2G), biogás e bioquímicos (SILVA, 2019).

Segundo Ribeiro et al. (1990), a parte dura do colmo (nós e casca) equivale a 25% do peso da cana. Consequentemente, a comercialização do caldo de cana gera como resíduo, além do bagaço, a casca que é retirada para obter-se um caldo de maior qualidade. Visando o aproveitamento energético da cana-de-açúcar, este estudo visa trazer o potencial de geração de biogás a partir da casca da mesma.

## OBJETIVOS

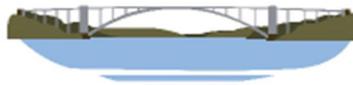
Este trabalho tem como objetivo levantar o potencial de produção de biogás utilizando a casca da cana-de-açúcar, visando o aproveitamento energético da mesma via biodigestão anaeróbia.

## METODOLOGIA

Os sistemas experimentais desenvolvidos em triplicata contendo a casca como fonte de matéria orgânica, foram projetados, construídos, instalados e monitorados no Laboratório de Engenharia Bioenergética, localizado nas dependências físicas do Centro de Engenharias (CEng) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul.

Segundo Bond e Templeton (2011), os biodigestores anaeróbios são desenvolvidos para operar em zonas de temperatura mesofílica (20° C a 40° C) ou termofílica (acima de 40° C). Este experimento operou na faixa mesofílica, com uma temperatura média de 25° C.

Os biodigestores foram desenvolvidos a partir da reutilização de garrafas de Politereftalato de etileno (PET) comportando um volume total de 2,15 dm<sup>3</sup>, idealizando que pudessem ser operados com facilidade, eficiência e baixo custo.



Para monitorar a produção do biogás oriundo do processo de biodigestão anaeróbia, desenvolveram-se medidores e foram instaladas conexões, através de tubos flexíveis com diâmetro de aproximadamente 4 mm, interligando os biodigestores aos medidores. As conexões, assim como as tampas, foram vedadas com silicone acético incolor, impedindo futuras perdas de biogás para a atmosfera. Visando a não interferência da luminosidade nos processos internos, cada biodigestor foi envolto com folhas finas de alumínio.

Desenvolveram-se medidores com funcionamento baseado no princípio de deslocamento de líquidos, constituindo-se em dois frascos comunicantes, onde um deles é graduado e sua parte superior conecta-se à parte superior do biodigestor, conforme a Figura 1. Utilizou-se água nos medidores e, para que ao fim de cada medição o líquido retornasse à marca inicial, instalaram-se divisores de ar interligando o reator com o medidor e a atmosfera. Além disto, os medidores receberam uma fina camada de óleo de soja acima do nível da água contida no frasco graduado, para evitar a dissolução do CO<sub>2</sub> contido no biogás.



**Figura 1. Biodigestor anaeróbio conectado ao medidor de biogás. Fonte: Adaptado de Lourenço (2017).**

O procedimento experimental foi operado em batelada, onde a inserção de resíduos ocorreu apenas no início do processo. Foi reservado um volume de 0,425 dm<sup>3</sup> em cada reator para *headspace* (20%) e o restante do volume foi dividido entre resíduo sólido orgânico (substrato), lodo oriundo do processo de parboilização de arroz e água destilada. O lodo foi cedido por uma indústria arroseira, localizada no município de Pelotas.

Para cada 100 g de resíduos foram adicionados 200 mL de água destilada, resultando em um volume final de 1,425 dm<sup>3</sup> (substrato) e 0,3 dm<sup>3</sup> de lodo em cada biodigestor. O experimento teve duração de uma semana (168 h) e as medições do biogás produzido e da temperatura ambiente ocorreram em intervalos de 12 h, resultando em valor médio de produção de biogás. Os digestores foram diferenciados por números (1, 2 e 3) para diferenciação, com valores de produção identificados para cálculo de média de produção utilizando a casca.

## RESULTADOS

Segundo Gunnerson & Stuckey (1986), as bactérias metanogênicas são mais sensíveis às mudanças de temperatura do que outros organismos presentes nos biodigestores. Pequenas variações de temperatura como 2° C podem ter efeitos adversos na digestão mesofílica. Notou-se, porém, que entre as medições de temperatura realizadas ao longo do estudo não ocorreram oscilações acima de 0,5° C. Não foi possível, porém, determinar a estabilidade do processo em relação à frequência das oscilações, já que o controle de temperatura foi realizado em intervalos de 12 h.

A Figura 2 apresenta os valores de produção de biogás no biodigestor 1:

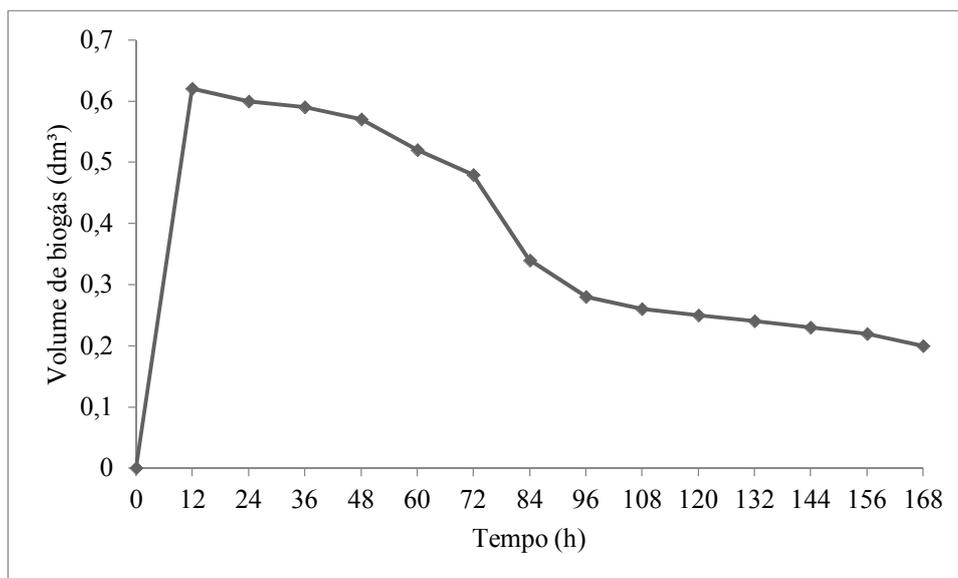
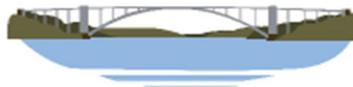


Figura 2. Produção de biogás no biodigestor 1. Fonte: Autor do Trabalho.

Através da Figura 3, compreende-se os valores de geração de biogás no biodigestor 2:

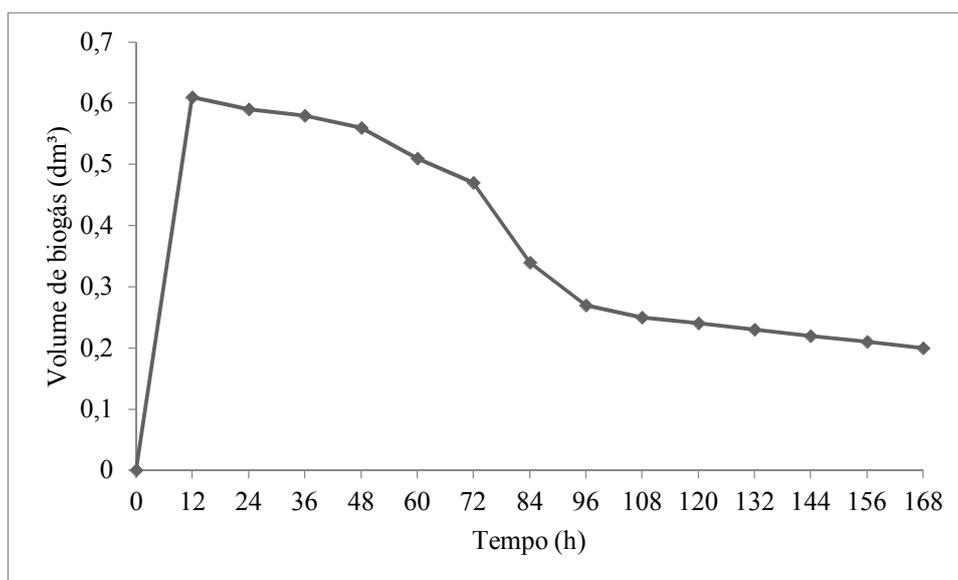
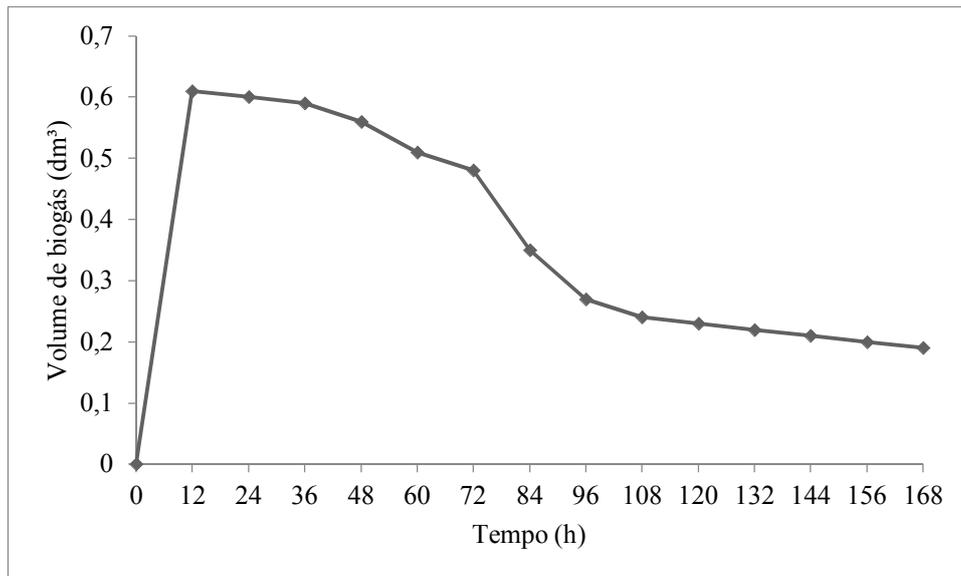
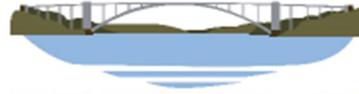


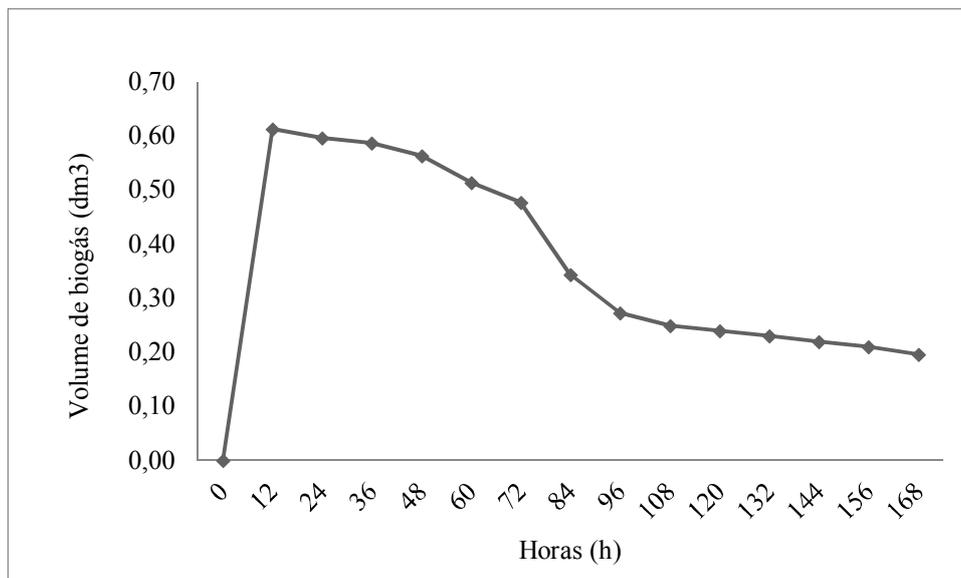
Figura 3. Produção de biogás no biodigestor 2. Fonte: Autor do Trabalho.

Na Figura 4, apresenta-se os valores de produção no biodigestor 3:



**Figura 4. Produção de biogás no biodigestor 3. Fonte: Autor do Trabalho.**

Como pode ser observado na Figura 5, considerando o valor médio de produção da triplicata, obteve-se o pico de produção ao longo das primeiras 12 h de experimento. Esta característica deve-se em decorrência do inóculo presente no sistema, onde a partida inicial na produção de biogás ocorre mais acentuadamente (LIU et al., 2017). A geração de biogás no período das primeiras 12 h de funcionamento alcançou neste sistema um total de 0,61 dm<sup>3</sup>.



**Figura 5. Produção média de biogás. Fonte: Autor do Trabalho.**

Nota-se que com o decorrer do tempo, ocorreu um decaimento constante na produção de biogás. Isto se deve ao fato de que o substrato ao longo do tempo é consumido pelas bactérias metanogênicas contidas nos biodigestores, o que levou à geração de biogás e, posteriormente, seu contínuo decaimento. Quando se constatou estabilidade na produção de biogás, o experimento foi imediatamente encerrado. Tal fato ocorreu após 168 h do início do experimento.

O valor médio de produção do sistema em triplicata alcançou um volume total de 5,31 dm<sup>3</sup> de biogás, como evidenciado na Figura 3. Este valor resultou em uma produção média de 0,76 dm<sup>3</sup> de biogás por dia.

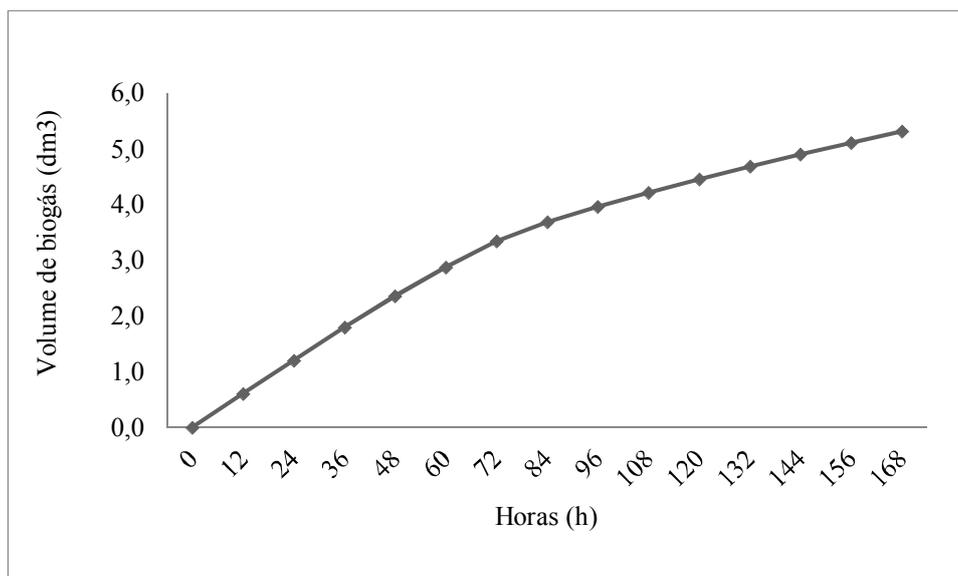
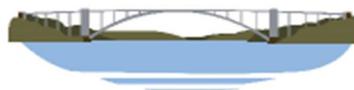


Figura 6. Produção média acumulada de biogás. Fonte: Autor do Trabalho.

Após o término do experimento adicionou-se um volume de 0,425 dm<sup>3</sup> a cada sistema, resultando no volume total de biogás produzido. Tal volume equivale ao que anteriormente havia sido reservado para funcionar como *headspace*.

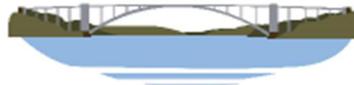
## CONCLUSÕES

Os sistemas estudados obtiveram produções satisfatórias de biogás. Evidenciou-se o grande potencial energético integral da cana-de-açúcar que, atualmente, tem o mercado voltado principalmente para a produção de etanol e açúcar. Recomenda-se a exploração desta tecnologia devido à diminuição do preço do açúcar, que pode ser explicado pelo aumento da competitividade mundial no setor, levando a destinação da maior parte desta matéria-prima para a fabricação de etanol.

O potencial do biogás não se limita à geração de eletricidade renovável. Com o desenvolvimento tecnológico de tratores e caminhões movidos a gás, abre-se uma grande oportunidade para substituição gradativa do diesel nas operações agropecuárias, contribuindo para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, para a sustentabilidade ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bond, T., Templeton, M.R. **History and future of domestic biogas plants in the developing world.** Energy for Sustainable Development, v. 15, p. 347-354, 2011.
2. Christofoletti, C.A., Escher, J.P., Correia, J.E., Marinho, J.F.U., Fontanetti, C.S. **Sugarcane vinasse: environmental implications of its use.** Waste Manag., v. 33, p. 2752-2761, 2013.
3. Editora Gazeta. **Anuário Brasileiro de Cana-de-açúcar.** Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-da-cana-de-acucar-2018/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.
4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2009. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html/>. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.
5. Gunnerson, C., Stuckey, D. **Anaerobic digestion: principles and practice of biogas systems.** Word Bank Technical Paper, n. 49, 1986.
6. Liu, T., Sun, L., Scünerer, B.M.A. **Importance of inoculum source and initial community structure for biogas production from agricultural substrates.** Bioresource Technology, v. 245, p.768-777, 2017.
7. Milanez, A.Y., Guimarães, D.D., Maia, G.B.S., Souza, J.A.P., Lemos, M.L.F. **Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas.** BNDES Setorial, v. 47., p. 221-276, 2018.
8. Ministério de Minas e Energia (MME). **Resenha Energética Brasileira. Exercício de 2015.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/91108841/1+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira/f9d34960-a6b9-4aff-b58f-bd3a8204a2be;jsessionid=BB006231E837AC861D3390E3705B8D7D.srv155?version=1.0>. Acesso em 14 de fevereiro de 2019.



9. Nyko, D., Faria, J.L.G., Milanez, A.Y., Castro, N.J., Brandão, R., Dantas, G. **Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo.** BNDES Setorial, v. 33, p. 421-476, 2010.
10. Paoliello, J.M.M. **Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira.** 2006. 200f. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2006.
11. Parsaee, M., Kiani, M.K.D., Karimi, K. **A review of biogas production from sugarcane vinasse.** Biomass and Bioenergy, p. 117-125, 2019
12. Ribeiro, C.A.F., Blumer, S.A.G., Horii, J. **Tecnologia do açúcar.** Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 1999.
13. Silva, A., Gomes, W., Alsina, O. **Utilização do bagaço de cana-de-açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos.** Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba e Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2007.
14. Silva, D.F.S., Bomtempo, J.V., Alves, F.C. **Innovation opportunities in the Brazilian sugar-energy sector.** Journal of Cleaner Production, p. 871-879, 2019.
15. Souza, S.P., Nogueira, L.A.H., Martinez, J., Cortez, L.A.B. **Sugarcane can afford a cleaner energy profile in Latin America & Caribbean.** Renew. Energy, p. 164-172, 2018.
16. Souza, Z. J., Azevedo, P.F. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas.** RER, Rio de Janeiro, v. 44, n. 02, p. 179-199, 2006.
17. Szymanski, M.S.E., Balbonot, R., Schimer, W. N. **Biodigestão Anaeróbica da vinhaça: aproveitamento energético e obtenção de créditos de carbono e estudo de caso.** Ciências Agrícolas, p. 901-912, 2010.