

Síntese de biogás com o uso de glicerina residual da produção de biodiesel

Biogas synthesis with residual glycerin from biodiesel production

Bianca de Melo Silveira, Géssica Aparecida Silveira, *Alexandre Cestari

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Campus Matão, S P, Brasil.

**alexandre.cestari@ifsp.edu.br*

Submetido em 24/09/2020; Versão revisada em 07/04/2021; Aceito em 15/04/2021

Resumo

A busca por novas fontes alternativas de energia tem se mostrado cada vez maior a fim de suprir a demanda pela utilização de combustíveis fósseis. Diante desta necessidade, a biomassa que pode ser obtida através de resíduos florestais, urbanos e agroindustriais tem sido empregada para a obtenção de biogás, a partir de digestão anaeróbia de matéria orgânica. Atualmente, a produção de biodiesel resulta em grande quantidade residual de glicerina bruta, sem destinação ambientalmente correta. Devido a esse problema, este trabalho teve como objetivo analisar a produção de biogás a partir do glicerol residual, utilizando-se diferentes tipos de matérias-primas, para efeito comparativo. Os resultados obtidos demonstraram um considerável potencial na produção de biogás, em que o substrato foi suplementado com glicerina bruta para a biodigestão, apresentando alto teor de metano na composição do gás combustível.

Palavras-chave: biodigestão; glicerina; biogás

Abstract

The search for new alternative sources of energy has been shown to be increasing in order to supply the demand for the use of fossil fuels. In view of this need, the biomass that can be obtained through forest, urban and agro-industrial residues has been used to obtain biogas, from anaerobic digestion of organic matter. Currently, the production of biodiesel results in a large residual amount of crude glycerin, without an environmentally correct destination. Due to this problem, this work aimed to analyze the production of biogas from residual glycerol, using different types of raw materials, for comparative effect. The results obtained demonstrated a considerable potential in the production of biogas, in which the substrate was supplemented with crude glycerin for biodigestion, presenting a high methane content in the composition of the fuel gas.

Keywords: biodigestion; glycerin; biogas

INTRODUÇÃO

Há aproximadamente 250 anos, os seres humanos dependiam quase que inteiramente das fontes naturais de energia, em que os animais puxavam os arados e os moinhos de vento trituravam os grãos. Atualmente, a força humana contribui com menos de 1% do trabalho realizado nos países desenvolvidos, fazendo com que as atividades de produção de bens e serviços dependam cada vez mais do uso de recursos não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral (WALISIEWICZ, 2008).

A preocupação com as questões ambientais vem aumentando e, com isso, o mundo tem buscado um desenvolvimento sustentável, ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável, trazendo novas perspectivas e viabilidades para direcionar o modelo energético (GARCIA, 2013).

Deste modo, a energia exerce um papel influenciador na sociedade, sendo ele positivo e negativo, social, econômico e ambiental. As energias renováveis estabelecem caminhos para a diminuição de impactos provocados pelo uso de fontes energéticas poluidoras e, acima de tudo, porque podem estimular uma economia baseada em conceitos de sustentabilidade, autonomia, descentralização, eliminação de impactos ambientais, baixo custo e tecnologias apropriadas para sua obtenção (BELLAYER, 2000).

Além disso, a utilização de recursos renováveis constitui uma das ações mais importantes no contexto de mudanças climáticas, na medida em que reduz as emissões de Gases do Efeito Estufa. Tais emissões contribuem para o aquecimento global, que por sua vez traz consequências ambientais negativas. Estas fontes de energia alternativas contribuem para a minimização de impactos, associados à poluição local do ar, do solo e recursos hídricos (TOLMASQUIM, 2003).

Um dos recursos renováveis mais utilizados é a biomassa, que é considerado um resíduo sólido que pode ser obtido de diversas maneiras: biomassa florestal, biomassa residual e biomassa a partir de culturas energéticas. Sendo assim, a biomassa é uma

matéria orgânica que pode ser empregada como recurso energético através de diversos métodos: biomassa por queima, biocombustíveis por extração e transformação, e produção de biogás por decomposição (ORTIZ, 2005).

O biogás é constituído por uma mistura de gases, cujo tipo e porcentagem diferenciam de acordo com as particularidades dos resíduos e as condições de desempenho do processo da digestão. Seus principais constituintes são o metano e dióxido de carbono. Outros gases como o sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono também compõem o biogás, porém em concentrações menores (PRATI, 2010).

Este gás é obtido a partir de digestão anaeróbia em um processo biológico realizado em biodigestores, podendo ser utilizado e convertido em energia elétrica, mecânica e térmica, com menores danos no ecossistema e ainda tendo como subproduto, um biofertilizante (SEBRAE, 2008; MONTAGNA, 2013).

Segundo Konrad et al. 2014, o aumento na geração de biogás está correlacionado com a adição de cargas orgânicas, sendo a glicerina uma opção interessante na geração de biogás. Além disso, a glicerina residual do processamento do biodiesel é vendida para a indústria química, porém sua obtenção está se tornando superior à sua demanda (LÓPEZ, 2009).

Portanto, o uso de resíduos animais ou vegetais com a glicerina bruta pode implicar em um maior rendimento de biogás e justifica a procura de novas tecnologias para o emprego destes subprodutos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a co-digestão de solo de plantação agrícola com dejetos aviários, palha de cana-de-açúcar, casca de banana e tomate em fase de deterioração, com a junção da glicerina bruta em biodigestores anaeróbios, a fim de observar o rendimento da produção de biogás e a formação de metano.

MATERIAIS E MÉTODOS

O solo de hortaliças orgânicas e a palha da

cana-de-açúcar foram obtidos em uma plantação da instituição de ensino em que foi realizada a pesquisa. A glicerina bruta foi gerada pelo processo convencional de produção do biodiesel e os dejetos de aves, de uma granja de pequeno porte do município.

Cascas de banana e tomates em fase inicial de deterioração foram adquiridas em mercados. Para efeito comparativo, glicerina pura (grau P.A.) foi utilizada nas biodigestões. Para evitar o efeito bactericida do cloro ativo presente na água encanada, água destilada foi utilizada nos experimentos.

As biodigestões foram efetuadas em triplicata, em sistemas anaeróbios, durante 15 dias. Foram utilizados Kitassatos e o biogás foi coletado através de mangueiras de silicone em provetas, com a entrada submersa, e inicialmente preenchidas totalmente com água destilada. As imagens 1 e 2 representam os sistemas de biodigestão.



Imagem 1: Sistemas de biodigestão contendo 12 amostras.



Imagem 2: Sistemas de biodigestão.

Para efetuar as biodigestões, dividiram-se as amostras em quatro grupos representativos: SDA (Solo e dejetos de aves), SDAGB (Solo, dejetos de aves e glicerina bruta), SDAGPA (Solo, dejetos de aves e glicerina PA), SCB (Solo e casca de banana), SCBGB

(Solo, casca de banana e glicerina bruta), SCBGPA (Solo, casca de banana e glicerina PA), SP (Solo e palha de cana), SPGB (Solo, palha e glicerina bruta), SPGPA (Solo, palha e glicerina PA), ST (Solo e tomate), STGB (Solo, tomate e glicerina bruta), STGPA (Solo, tomate e glicerina PA). O grupo controle apresentou apenas solo e o substrato (SDA, SCB, SP e ST). A Tabela 1 representa a organização dos experimentos.

Tabela 1
Grupos de amostras para biodigestão.

Grupo	Sigla	Substrato (40 g)	Solo (g)	Água (mL)	Glicerina Bruta (mL)	Glicerina P.A. (mL)
1	SDA	Dejeto de aves	40	250	-	-
	SDAGB	Dejeto de aves	40	250	12,5	-
	SDAGPA	Dejeto de aves	40	250	-	12,5
2	SCB	Casca de banana	40	250	-	-
	SCBGB	Casca de banana	40	250	12,5	-
	SCBGPA	Casca de banana	40	250	-	12,5
3	SP	Palha de cana	40	250	-	-
	SPGB	Palha de cana	40	250	12,5	-
	SPGPA	Palha de cana	40	250	-	12,5
4	ST	Tomate	40	250	-	-
	STGB	Tomate	40	250	12,5	-
	STGPA	Tomate	40	250	-	12,5

Para aumentar-se o rendimento das biodigestões, foi adicionada ao reator uma solução de nutrientes com base em Leitão et al. 2011 (Tabela 2).

Tabela 2
Nutrientes utilizados na biodigestão.

Nutrientes	Concentração (g.mL ⁻¹)
C ₆ H ₁₂ O ₆	1,25
NH ₄ Cl	0,30
KH ₂ PO ₄	0,20
MgSO ₄	0,20
CaCl ₂	0,30
NaCl	0,20
Extrato de levedura	1,25

Para a análise das amostras de biogás, utilizou-se um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massa (marca Shimadzu, modelo QP2010 Plus), com uma coluna RTX-5ms (5% difenil e 95% dimetilpolisiloxano, marca Restek, com 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro, com 0,25 µm de espessura de filme). O fluxo do gás de arraste foi definido em 0,7 mL.min⁻¹ e a temperatura da coluna em

40 °C, em modo isotérmico.

As análises iniciais foram realizadas no modo SCAN para identificação dos analitos, através da comparação com a biblioteca internacional NIST 08. Depois, aplicou-se o método SIM (Selected Ion Monitoring), em que as seguintes moléculas e fragmentos (m/z) foram selecionados para quantificação: CH₄ (16, 15), H₂ (2), N₂ (28, 14), CO₂ (44, 28), CO (28), O₂ (32, 16).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise exploratória de dados por estatística multivariada, para a realização de uma avaliação espaço-temporal consistente, entre as características do biogás e variáveis correlacionadas.

Foram obtidos os valores padronizados, média zero e variância 1, com uso do software Statistica Data Analysis. Posteriormente, realizou-se a análise de componentes principais (PCA), selecionando-se os que apresentaram autovalores acima de um, segundo critério de Kaiser-Guttman (JACKSON, 1993; SILVEIRA, 2015).

Foram utilizados os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2), pois representavam maior variação dos dados originais, sendo representados graficamente em um plano bidimensional (Biplot), que possibilitou observar as associações entre as amostras e as variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás foi executada durante 15 dias e, então, o biogás foi coletado do sistema da biodigestão com uma microsseringa e injetado diretamente no cromatógrafo. Os resultados foram apresentados na Tabela 3, considerando-se a média das triplicatas. Todas as amostras, exceto as amostras controle, tiveram a suplementação com glicerina residual ou glicerina comercial, desde o início da biodigestão.

Na composição das amostras de biogás, foram identificados os teores de metano, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e monóxido de

carbono. Porém, com o método analítico utilizado, a quantificação de O₂, CO₂ e CO não pode ser realizada com precisão e exatidão e os resultados não foram representados na Tabela 3 e corresponderam à complementação da porcentagem composicional das amostras.

Tabela 3
Produção de Biogás pelas biodigestões.

Produção de Biogás					
Grupo	Amostra	Volume total (mL)	% de CH ₄	% de H ₂	% de N ₂
1	SDA	33	49,90	0,30	25,12
	SDAGB	71	56,42	0,87	13,38
	SDAGPA	52	33,54	0,11	22,83
2	SCB	45	6,60	0,01	42,51
	SCBGB	58	14,11	0,00	32,01
	SCBGP	52	12,20	0,00	30,45
3	SP	60	13,95	0,01	31,50
	SPGB	87	15,47	0,01	35,75
	SPGPA	89	15,68	0,00	24,84
4	ST	39	7,28	0,00	21,42
	STGB	73	12,02	0,01	30,95
	STGPA	57	10,32	0,02	26,21

Na composição das amostras de biogás, foram identificados os teores de metano, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono. Porém, com o método analítico utilizado, a quantificação de O₂, CO₂ e CO não pode ser realizada com precisão e exatidão e os resultados não foram representados na Tabela 3 e corresponderam à complementação da porcentagem composicional das amostras.

Para a melhor visualização dos resultados, os gráficos em função do volume produzido de biogás e da porcentagem de metano nas amostras foram demonstrados, nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

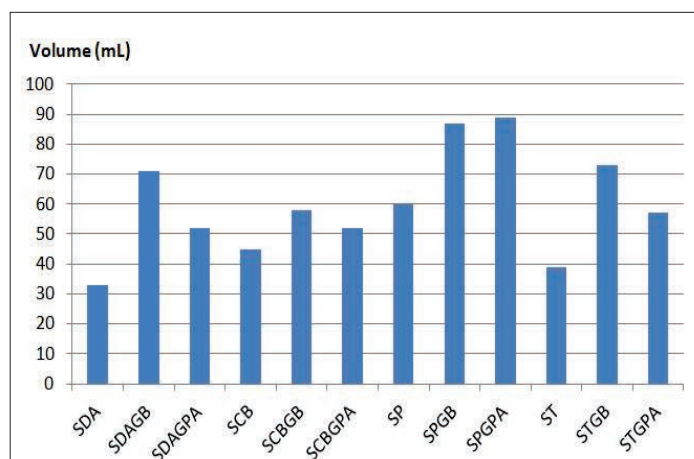


Figura 1 – Volume de biogás produzido pelas biodigestões

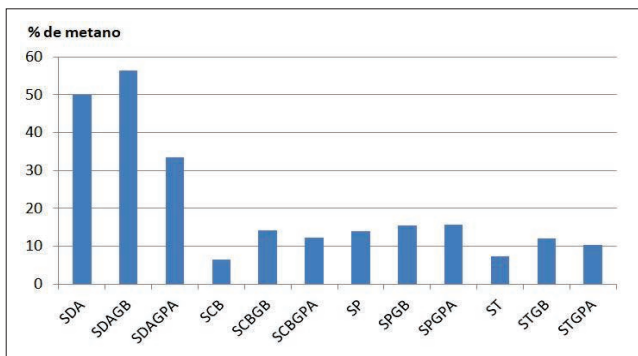


Figura 2 – Porcentagem de metano nas amostras de biogás.

Para a análise volumétrica da produção de metano, o volume de biogás produzido foi multiplicado pela porcentagem composicional de metano, resultando no gráfico representado na Figura 3.

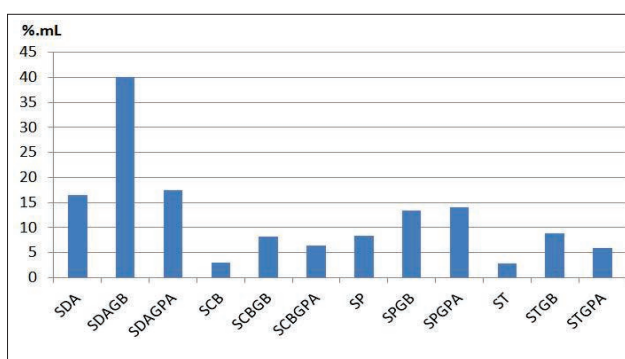


Figura 3 – Volume de metano nas amostras de biogás.

Entre os grupos de amostras, observou-se que o volume de gás e quantidade de CH_4 apresentaram seus menores valores, quando comparados àqueles que não continham glicerina, evidenciando que independente do substrato suplementado com glicerina, comercial ou bruta, há produção de uma quantidade superior de biogás. O uso da glicerina bruta também contribuiu para a maior produção de biogás, em relação à glicerina comercial, em três grupos.

Para os biodigestores contendo glicerina bruta, a amostra SDAGB apresentou a maior quantidade de metano, em 56,42 % de seu volume total, sendo o melhor resultado entre todos os experimentos. Para efeito de comparação, nos biodigestores contendo glicerina comercial, a amostra SDAGPA apresentou 33,54 % de metano em seu volume total.

O melhor desempenho com o uso de glicerina, em relação aos experimentos sem esta substância, é pertinente ao seu teor de carbono. A composição do

biogás e sua produção estão inteiramente ligadas ao teor da carga orgânica no biodigestor. A presença de glicerina no conteúdo do biodigestor aumenta a carga orgânica no meio, colaborando com um aumento na produção do biogás (ROBRA, 2006; BACKES, 2011).

A produção de metano é um forte apontador do desempenho de um reator anaeróbico, pois constitui características de atividades metabólicas de um ecossistema metanogênico (MICHAUD, 2005).

Para a produção de CH_4 , observaram-se os menores valores para SCB (6,60%) e ST (7,28%), respectivamente. Esse valor pode ser explicado devido a esses resíduos apresentaram menores quantidades de matéria orgânica e não terem sido suplementados com a glicerina. A composição e as fibras da casca de banana também influenciaram negativamente a produção de biogás.

De acordo com Perez (2007), os microrganismos metanogênicos são extremamente sensíveis às perturbações do processo, tais como a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras, além da composição da carga orgânica.

A maior quantidade de CH_4 foi observada na amostra SDAGB (56,42%). Este substrato, referente aos dejetos de aves, apresentou alta produção de metano e pode variar devido à alimentação e confinamento das aves. A presença de microrganismos e carga orgânica também influenciaram positivamente a produção de biogás (COLLATO, 2012).

Analisando-se os experimentos na forma de grupos, observou-se que a maior quantidade de metano encontrou-se nos resíduos em que foi inserida a glicerina bruta, exceto no grupo 3, porém houve pequena diferença.

Deste modo, a utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica, não apenas aproveita de forma sustentável este subproduto da produção de biodiesel, evitando a disposição deste resíduo no ambiente.

O metano apresenta potencial 21 vezes maior que o CO_2 para o aumento do efeito estufa e a queima

deste biogás na produção de energia evita tais emissões na atmosfera. Seu uso também pode ser atribuído a créditos de carbono.

Devido ao seu alto teor presente no biogás, o metano pode ser utilizado como combustível em motores, substituindo a dependência por combustíveis fósseis como a gasolina, o óleo diesel e o GLP. Estes fatores comprovam ainda mais a importância do aproveitamento energético do metano e o desenvolvimento da biodigestão.

Para a produção de H₂, observou-se o maior teor para a amostra SDAGB. O hidrogênio é o combustível promissor para o futuro por proporcionar benefícios sociais, econômicos, ambientais e uma combustão limpa, apresentando água como produto.

Seu uso possibilita a eliminação da dependência do petróleo e a eliminação das emissões de carbono no setor dos transportes e nas indústrias, contribuindo para a redução dos impactos ambientais causados pela queima de combustíveis (KOTAY, 2008).

Apesar de não ter obtido valores elevados nesse estudo para este gás, a amostra SDAGB apresentou grandes valores de CH₄ e H₂, dos quais, combinados no mesmo biogás, pode aumentar o poder calorífico e diminuir a emissão de CO₂ na combustão.

A presença de N₂ nas amostras é devido aos biodigestores que foram utilizados nos experimentos, em que, a fração superior, denominada de volume morto, foi preenchida com ar atmosférico. Conforme ocorre a produção de biogás, a porcentagem de N₂ é proporcionalmente reduzida. Esta porcentagem também pode variar de acordo com a produção de CO e CO₂ e o consumo de O₂ do ar atmosférico presente no volume morto.

Os dejetos de aves apresentam uma composição heterogênea e substâncias de rápida degradação, por exemplo, carboidratos e amido, que são agentes responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico. Este fato pode ter influenciado os resultados para o grupo 1 (SUZUKI, 2012; MEREGE, 2011).

O potencial de produção de biogás é uma decorrência conjunta de vários elementos, tais como o

tipo de reator utilizado, o substrato a ser digerido, a suplementação proporcionada e às circunstâncias ambientais favoráveis ou não ao processo realizado pelos microrganismos presentes, o que pode elucidar a diferença nos potenciais de produção identificados neste estudo (INOUE, 2008).

Considerando-se os resultados das análises obtidas, o estudo dos componentes principais resultou na redução de nove para dois componentes importantes. Os autovetores, que foram as novas variáveis adquiridas, foram apresentados na Tabela 4 e correspondem aos dois principais componentes.

Tabela 4
Autovetores e correlação entre cada variável.

Variáveis	CP1	CP2
Biogás	-0,017	0,963*
CH ₄	0,933*	0,335
H ₂	0,956*	0,164
N ₂	-0,574	0,797*
CO ₂	0,973*	0,109
CH ₄	0,912*	-0,046
H ₂	0,981*	0,075
N ₂	-0,771*	0,161
CO ₂	0,983*	-0,009

*Valores discriminatórios; CP1= componente principal 1; CP2= componente principal 2;

Os autovetores foram considerados medidas da importância de cada variável, sendo que os sinais positivos ou negativos indicaram relações diretamente ou inversamente proporcionais, respectivamente. Vale ressaltar que todas as variáveis apresentaram correlação superior a +0,5 ou -0,5 em algum dos dois componentes principais.

Na Figura 4, encontra-se o plano formado pelos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) e constatou-se que a soma da variabilidade retida nestes componentes explicou 90,7% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm cada um, 71,27% e 19,43%, respectivamente.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a co-digestão de solo de plantação agrícola com dejetos aviários, palha de cana-de-açúcar, casca de banana e tomate em fase de deterioração, com a junção da glicerina bruta em biodigestores anaeróbios se mostraram com relevante capacidade para a produção de biogás.

As amostras com solo e quaisquer dos outros subprodutos do estudo, juntamente com a glicerina bruta se demonstraram com maior rendimento de produção de gás e porcentagem de CH_4 , comparados com aqueles que não continham glicerina.

Além disso, de acordo com os resultados da análise estatística multivariada, as amostras SDAGPA e SDA mostraram-se diferentes das demais biodigestões, sem dejetos de aves. Deste modo, pode-se afirmar que o uso de dejetos de aves foi potencialmente relevante para a produção de biogás.

O melhor resultado de biodigestão neste trabalho foi obtido na amostra SDAGB, utilizando-se a combinação de solo agrícola, dejetos de aves e glicerina bruta proveniente da produção de biodiesel, em que foram produzidos 71 mL de biogás, contendo 56,42 % de metano, equivalente à 40,06 mL de metano.

Comparando-se os resultados da amostra SDAPA (52 mL de biogás, contendo 33,54 % de metano, equivalente à 17,44 mL de metano) com a amostra SDAGB, conclui-se que o uso da glicerina bruta residual da produção de biodiesel aumentou consideravelmente a produção de metano na biodigestão, com um acréscimo de 129,87 % na produção do volume equivalente de metano.

Em suma, conclui-se que o uso da glicerina residual da produção de biodiesel apresentou um alto potencial energético, sendo recomendável seu uso em biodigestores, visto que pode resolver um problema de destinação de resíduos industriais, incorporando a glicerina bruta na geração de biogás, com um grande aumento produtivo de metano.

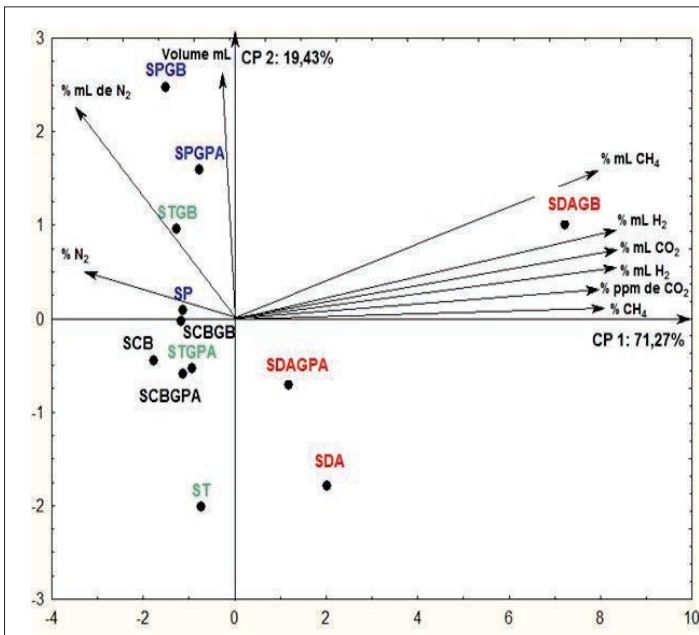


Figura 4 - Projeção espacial (biplot) dos dois primeiros componentes principais (CP1 com CP2), referente às variáveis avaliadas.

A projeção em um plano bidimensional (biplot) identificou o comportamento das variáveis e as associações entre os pontos amostrais e indicaram quais variáveis estavam relacionadas mais fortemente com cada amostra.

Amostras que se encontraram na direção do sentido das variáveis apresentam maiores concentrações e no sentido oposto, menores. As amostras nas extremidades do plano apresentaram características específicas, sendo diferentes das demais (SILVEIRA, 2016).

Com esta análise, pode-se observar que a amostra SDAGB se destacou em relação às demais, relacionado aos maiores valores das setas próximas e por se distanciar no plano.

Além disso, as amostras SDAGPA e SDA mostraram-se diferentes das demais biodigestões, sem dejetos de aves. Deste modo, pode-se afirmar que o uso de dejetos de aves foi potencialmente relevante para a produção de biogás.

Tais resultados confirmaram, por estatística multivariada, a avaliação realizada anteriormente, na qual, os maiores teores foram encontrados na amostra SDAGB, sendo o melhor resultado deste estudo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.
- ANEEL:EPE, 2007, Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030. Brasília, MME:EPE.
- ANEEL, 2008, Atlas de energia elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília, ANEEL. – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: Agosto de 2020.
- ANEEL - BIG, 2012, Banco de Informações de Geração. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: Agosto de 2020.
- AZEVEDO, F. G.; Estudo das condições ambientais para produção de biogás a partir de glicerol co-produto do biodiesel. Dissertação Programa de Pós graduação em Engenharia Química Universidade Federal de Pernambuco. 2010.
- BACKES, M.G. Avaliação do processo de biodigestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel. Dissertação (Mestrado). Pós – Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.
- BELLAVER C. Produção animal e qualidade de vida em sociedades em transição. 1a Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína. 16 de novembro a 16 de dezembro de 2000 — 235-248. Concórdia, SC.
- CARDOSO, B.M., Uso da Biomassa como Alternativa Energética. Trabalho de Conclusão de Curso, 112f. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.
- CECCHI, M.; DOSL, Z.; MARINI, M. On recessive and dominant solutions for half-linear difference equations, *Journal Differ Equations Appl*, v. 10, n. 9, p.797–808, 2004.
- CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S.. Manual de biodigestores rurais. São Paulo: Ipt, 1982. 61 p.
- COLLATO, L.; LANGER, M.; Unoesc & Ciência – ACET, Joaba, v.2, n.2, p. 119 – 128. 2012.
- COSTA, R. Glicerina, o tamanho do problema. *Biodieselbr*, Curitiba, v 1, n. 3, p. 16-20, fev./mar. 2008.
- FOUNTOULAKIS, M. S.; PETOUSI, I.; MANIOS, T. Co-digestion of sewage sludge with glycerol to boost biogas production. *Waste Management*, v. 30, n.10, p. 1849-1853, 2010.
- GUEDES, M. F.; SANTO, L.S.E.; PEREIRA, V.; MARTINEZ, G.A.S.; TOMACHUK, C.R.; Sistema anaeróbico caseiro para produção de biogás a partir de biomassa de arroz. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 3]. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2015-482-34189-266152
- IEA – International Energy Agency. Disponível em <www.iea.org>. Acesso em: Agosto de 2020.
- INOUE, K. R. A.; Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola o biofertilizante obtido na digestão da manipueira. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- JACKSON, D.A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, New York, v. 74, p. 2204-2214, 1993.
- KONRAD, O.; TONETTO, J. F.; LUMI, M.; SCHEMEIER, N.P.; BRIETZKE, D.T. Utilização da borra de glicerina como co-substrato na geração de biogás. *Scientia Plena*, v. 10, n. 2, 2014.
- KOTAY, S.M.; DAS, D. Biohydrogen as a renewable energy resource: prospects and potentials. *Int. Journal Hydrogen Energy*, v.33, p.258-263, 2008.
- HÁJEK, M.; SKOPAL, F. Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 9, p. 3242-3245, 2010.
- LEITÃO, R.C.; VIANA, M.B.; PINTO, G.A.S.; FREITAS, A.V.; SANTAELLA, S.T.; Produção do biogás a partir do glicerol oriundo do biodiesel. Comunicado Técnico. 4 p; Fortaleza, 2011.
- LÓPES, J. A. S.; MARTIN SANTOS, M. A.; PÉREZ, A F. C.; MARTIN, A. M. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel manufacturing. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 23, p. 5609 - 5615, 2009
- MAGALHÃES, A. P.T.; Biogás: um projeto de saneamento

- urbano. São Paulo: Nobel, 1986.
- MEREGE, R.V. Estratégias para Medição de Biogás e Degradabilidade da Matéria Orgânica em Reatores Anaeróbicos. São Carlos, 2011. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.
- MICHAUD, D.; BERNET, N.; BUFFIERE, P.; ROUSTAN, M.; MOLETTA, R. Methane yield as a monitoring parameter for the start-up of anaerobic fixed film reactors. *Water Research*, v. 36, P. 1385–1391, 2002.
- MME. Ministério Minas e Energia. Resenha energética brasileira <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energa%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>. Acesso em agosto de 2020.
- MONTAGNA, T. B.; Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia – uma revisão bibliográfica. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade educacional de dois vizinhos – União de Ensino do Sudoeste do Paraná, 2013.
- OLIVEIRA, A. S. de et al. Perspectiva da utilização dos co-produtos do biodiesel na produção de bovinos de corte, Sinop: Amazônia *phos*, ago. 2011. Artigo Técnico. Disponível em: <<http://www.amazoniaphos.com.br/TNX/imprime.php?cid=564&sid=44>>. Acesso em setembro de 2020.
- ORTIZ, L. S.; Fontes alternativas de energia e eficiência energética: opção para uma política energética sustentável no Brasil. Campo Grande-MS: Coalizão Rios Vivos, 2005.
- PRATI, L.; Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Paraná. 83 p. 2010.
- ROBRA, S. Uso da glicerina bruta em biodigestão anaeróbica: aspectos tecnológicos, ambientais e ecológicos. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Programa de Pós – Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Ilhéus, 2006.
- RUPPEL, T.; HALL, G. Glicerina Livre e Total em Biodiesel B100 por Cromatografia a Gás. *Revista Analytica*, v. 30, p. 90–95, 2007.
- SIMIONI, Carlos Alberto. O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis. Tese (Doutorado) Faculdade de Economia, Universidade Federal do Paraná, 2006.
- SILVEIRA, G. A. Influência do manejo do solo em atributos químicos, físicos e microbiológicos dos córregos Jaboticabal e Cerradinho. Dissertação (Mestrado) FCAV, Unesp, 2016.
- SUZUKI, A. B. P.; Geração de biogás utilizando cama de aviário e manipueira. Dissertação. Programa de pós – graduação em energia na agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/ Paraná, 2012.
- SANDERSON, K. Avaliação da eficiência da glicerina bruta, proveniente da produção de biodiesel, na obtenção de biogás em codigestão com dejetos suínos. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2013.
- STAT SOFT. Statistica (data analysis software system): version 7. 2004. Disponível em:<www.statsoft.com>. Acesso em julho de 2020.
- TOLMASQUIM, M. T.; Fontes renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro: CENERGIA, 2003.
- VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. Tratamento anaeróbico de esgotos: Um manual para regiões de clima quente, Campina Grande - Paraíba, 1994.
- VIANNA, A.; VIEIRA, L. S. R.; NASCIMENTO, M. V. G. Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – CEPEL, 2000.
- WANG, B.; WAN, W.; WANG, J. Effect of ammonia concentration on fermentative hydrogen production by mixed cultures. *Biores. Technol.*, v.100, p.1211-1213, 2009.
- WALISIEWICZ, M. Energia Alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. São Paulo: Publifolha, 2008.
- WOHLGEMUT, O. Co-digestion of hog manure with glycerin to boost biogás and methane production. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Faculdade de Estudos de Pós-Graduação, Universidade de Manitoba, Winnipeg, 2009.