



OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DAS CEASAS BRASILEIRAS EM UMA PERSPECTIVA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

Edvaldo Antunes Guimarães Neto⁽¹⁾

Qualificação do Autor Principal em estilo normal, fonte Times New Roman, corpo 10, alinhamento de parágrafo justificado, que deverá abranger um resumo curricular que não exceda a 5 (cinco) linhas.

Sávio Henrique de Barros Holanda⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental, Mestre e Doutor em Engenharia Civil-Geotecnia (UFPE). Pesquisador do Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco.

Daniela dos Santos Santana⁽¹⁾

Engenheira Ambiental, Mestre e Doutoranda em Engenharia Civil-Geotecnia (UFPE). Pesquisadora do Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco.

Maria Odete Holanda Mariano⁽¹⁾

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil-Geotecnia (UFPE). Professora de Engenharia Civil da UFPE. Pesquisadora do Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco.

José Fernando Thomé Jucá⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil pela COPPE-UFRJ e doutor em Engenharia Civil pela Universidad Politécnica de Madrid-Espanha. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE.

1 linha em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

Endereço⁽¹⁾: Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP 50710580 – Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Geotecnia Ambiental (GRS), UFPE e-mail: **exemplo@informar somente o endereço do Autor Principal.**

RESUMO

Os resíduos hortifrutigranjeiros apresentam grandes potenciais de geração de energia renovável. Produzidos em grandes quantidades pelas Ceasas do Brasil, tais materiais podem ser totalmente aproveitados para a geração tanto de compostos orgânicos, quanto de energia verde, através de biodigestores. O biogás tem obtido uma projeção mundial, devido à versatilidade de disponibilidade de matérias primas para a sua obtenção, como pelas suas propriedades como gás combustível, por apresentar um elevado poder calorífico. Neste trabalho, foram utilizados resíduos hortifrutigranjeiros, da Ceasa-PE, como substrato, e lodos biológico e industrial, da Ambipar, como inóculos. Utilizando-se do ensaio BMP, foram elaboradas as digestões: Lodo Biológico”, “Lodo Industrial”, e “Resíduo Ceasa”. Posteriormente, realizaram-se as combinações, porém, fixando-se a presença do resíduo, sendo eles: “Lodo Biológico + Resíduo Ceasa”, “Resíduo Ceasa + Água” e “Lodo Industrial + Resíduo Ceasa”. Dentre estes, o “LD BIO + RO” obteve os melhores rendimentos de geração acumulada e taxa diária de produção de biogás, atingindo, respectivamente, 213,23 NmL e 44,73 NmL/dia de biogás. Em relação ao teor de sólidos voláteis, a combinação “RO + LDBIO” obteve a maior redução entre $SV_{inicial}$ e SV_{final} , 79,47% para 70,81%. Em relação ao pH, tal combinação inicialmente foi de 3,9 e no final 4,0. Verifica-se, portanto, que os baixos valores de pH contribuíram para uma baixa produção diária e acumulada de biogás da pesquisa com todas as combinações, mostrando-se ser um fator de suma importância para se obter uma biodigestão otimizada.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos hortifrutigranjeiros; Biogás; Ensaio BMP

INTRODUÇÃO

O biogás é uma fonte alternativa de energia com inúmeras vantagens (limpa, alto poder calorífico etc.). Uma das principais matérias-primas para a sua produção, os resíduos orgânicos estão presentes em abundância nos centros de comercialização de hortifrutigranjeiros. As CEASAS (Centrais Estaduais de Abastecimento)

existentes em várias cidades no Brasil, produzem grandes quantidades de resíduos orgânicos que são descartados diariamente. Dentre algumas das vantagens do uso dessa energia limpa, pode-se citar, por exemplo, a redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária, possibilidade de uso de processos de cogeração, redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este também é um importante gás de efeito estufa, créditos de carbono, redução de odores e principalmente fatores econômicos, por ser, a longo prazo, uma fonte extremamente barata (Bandeira et al., 2023). Tais resíduos consistem em materiais com elevado potencial de geração de biogás, produzindo em torno de 250 m³/ton. Isto se dá em função da alta biodegradabilidade que os orgânicos apresentam, uma vez que contêm, em sua composição, grandes quantidades de substâncias facilmente assimiláveis pelos microrganismos fermentativos (açúcares, amido e proteínas) (Tshemese et al., 2023). A otimização das plantas industriais de digestão anaeróbia para valorização dos resíduos orgânicos das CEASAs no Brasil apresenta-se como uma estratégia promissora para a geração de energia limpa.

CONTÉUDO DO TRABALHO

O trabalho deve ser organizado seguindo um encadeamento lógico e deverá conter os seguintes itens: Introdução, Objetivo(s), Metodologia Utilizada, Resultados Obtidos ou Esperados, Análise e Discussão dos Resultados, Conclusões/Recomendações e Referências Bibliográficas.

OBJETIVOS

GERAL

Avaliar a biodegradabilidade e a geração de biogás de resíduos orgânicos hortifrutigranjeiros da Central de Abastecimento de Pernambuco (Ceasa-PE), utilizando o ensaio que avalia o Potencial Bioquímico do Metano.

ESPECÍFICOS

1) Analisar a produção acumulada e a taxa diária de geração de biogás da codigestão de resíduos orgânicos hortifrutigranjeiros, oriundos da Ceasa-PE, e efluentes biológico e industrial, provenientes da ETE Ambipar Environment, localizada no Cabo de Santo Agostinho-PE; 2) Analisar a variação do pH e dos teores de sólidos voláteis, nos instantes pré e pós-fermentação, no intuito de verificar ação da biodigestão na redução de carga orgânica do substrato e dos inóculos.

METODOLOGIA UTILIZADA

COLETA DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS HORTIFRUTIGRANJEIROS

Uma coleta pontual de resíduos hortifrutigranjeiros *in natura* foi realizada na Central de Abastecimento e Logística de Pernambuco (Ceasa-PE), acondicionada em sacolas plásticas pretas e transportada para o Laboratório de Geotecnia Ambiental, do Grupo de Resíduos Sólidos, da Universidade Federal de Pernambuco (GRS/UFPE).

Ao chegar ao Laboratório de Geotecnia Ambiental, o montante de resíduos foi pesado, cujo peso total (Pt) foi de 1,5 kg, triado, gravimetricamente, e pesado por tipologia de resíduo, cujas tipologias continham: 0,75 kg melancia, 0,25 kg pepino, 0,315 kg tomate, 0,10 kg pimentão, 0,085 kg limão.

Posteriormente à gravimetria, o montante foi cortado em pequenos pedaços de 10,0 mm de diâmetro, com o auxílio de uma faca do tipo “peixeira”, a fim de proporcionar maior superfície de contato entre as partículas e os microrganismos (Montgomery & Bochmann, 2014).

A etapa da trituração, que promove uma maior eficiência ao processo de homogeneização dos resíduos, foi realizada em um liquidificador Mondial Turbo Inox L-1200 RI, potência de 1200 W, com capacidade total de 3,0 L.

Imediatamente após o término da trituração e homogeneização, foi aferido o pH da polpa do substrato, utilizando um kit Medidor Digital TDS (Sólidos Totais Dissolvidos, em ppm), EC (Condutividade Elétrica, em microSiemens) e pH da marca Knup. Alíquotas do substrato foram coletadas em cápsulas de porcelana

(Figura 2a), pesadas em balança analítica Marte EL-620AB (0-600 g) (Figura 2b) e colocadas, inicialmente, em chapa aquecedora, por 12h, à temperatura de 300°C visando vaporizar o excedente de umidade, transportando, em seguida, as cápsulas para uma estufa de secagem e esterização da marca Tecnal 393/1, à temperatura constante de 105°C, conforme Lange et al. (2002) e VDI 4630 (2006).

Figura 2 - Separação de alíquotas com resíduos orgânicos hortifrutigranjeiros *in natura* para determinação dos teores de umidade, sólidos voláteis, totais e fixos.



Fonte: O autor (2024)

Ao se registrar peso constante, tais alíquotas foram encaminhadas para a análise que determina os teores de sólidos totais, voláteis e fixos, ao submeter as cápsulas à queima dos materiais orgânicos em forno mufla da marca EDGcon 3000, sob temperatura de 550°C, por 3h, conforme APHA (1998).

COLETA DOS INÓCULOS (LODO SANITÁRIO E LODO INDUSTRIAL)

Os lodos dos efluentes sanitário e industrial foram coletados na Estação de Tratamento de Efluentes da empresa de saneamento ambiental Ambipar Environment, localizada no município do Cabo de Santo Agostinho-PE, sob as coordenadas - Latitude Sul: -8.3339; Longitude Oeste: -35.0162, conforme a Figura 3a. Com o auxílio de bombonas plásticas brancas, com capacidade de 5 L, foram realizadas as coletas dos lodos de efluentes sanitários e de efluentes industriais brutos, conforme as Figuras 3b e 3c.

Figura 3 - (a) Localização da ETE Ambipar Environment; (b) Vista do topo do reator UASB; (c) Coleta do lodo sanitário.



Fonte: O autor (2024)

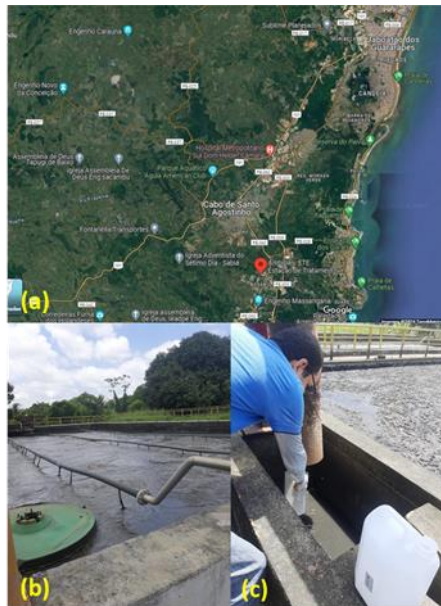
Ao se registrar peso constante, tais alíquotas foram encaminhadas para a análise que determina os teores de sólidos totais, voláteis e fixos, ao submeter as cápsulas à queima dos materiais orgânicos em forno mufla da marca EDGcon 3000, sob temperatura de 550°C, por 3h, conforme APHA (1998).

COLETA DOS INÓCULOS (LODO SANITÁRIO E LODO INDUSTRIAL)

Os lodos dos efluentes sanitário e industrial foram coletados na Estação de Tratamento de Efluentes da empresa de saneamento ambiental Ambipar Environment, localizada no município do Cabo de Santo Agostinho-PE, sob as coordenadas - Latitude Sul: -8.3339; Longitude Oeste: -35.0162, conforme a Figura 3a.

Com o auxílio de bombonas plásticas brancas, com capacidade de 5 L, foram realizadas as coletas dos lodos de efluentes sanitários e de efluentes industriais brutos, conforme as Figuras 3b e 3c.

Figura 3 - (a) Localização da ETE Ambipar Environment; (b) Vista do topo do reator UASB; (c) Coleta do lodo sanitário.



Fonte: O autor (2024)

CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS SANITÁRIO E INDUSTRIAL

No laboratório de Geotecnia Ambiental, da Universidade Federal de Pernambuco, foram inseridas, em cápsulas de porcelana, alíquotas dos lodos sanitário e industrial, pesadas, e colocadas em uma chapa aquecedora da marca Cienlab CE-1200/A, à temperatura de 300°C, por 12h, visando à redução do excedente de umidade. Posteriormente, as cápsulas foram inseridas em estufa de secagem e esterilização da marca Tecnal 393/1, sob temperatura constante de 105°C, conforme Lange et al. (2002) e VDI 4630 (2006), até a constância no peso das amostras (Figura 4).

$$W (\%) = [(p_i - p_f)/p_i] \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$
 onde, w (%) - teor de água presente na amostra, em porcentagem; pi (g) - peso inicial da amostra, em gramas; pf (g) - peso final da amostra, em gramas.

Figura 4 - Etapa de aquecimento das alíquotas de lodos sanitário e industrial em chapa de aquecimento, à temperatura de 300°C.



Fonte: O autor (2024)

Após a estabilização dos pesos das amostras, através da secagem em estufa à temperatura de 105°C, para determinação do teor de umidade, tais cápsulas foram colocadas em um forno mufla EDG 3000 e submetidas à temperatura de 600°C, visando à determinação dos teores de sólidos fixos e voláteis, conforme APHA (1998):

$$SV (\%) = [(pi - pf)/pi] \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

onde: SV (%) - teor de sólidos voláteis da amostra, em porcentagem ou em g_{sv}/g_{st} ; pi (g) - peso inicial da amostra pré-queima na mufla, em grama; pf (g) - peso final da amostra pós-queima na mufla, em grama.

ENSAIO QUE AVALIA O POTENCIAL BIOQUÍMICO DO METANO (BMP)

Com o intuito de analisar o volume e o potencial de biogás e metano produzido por pequenas frações de biomassas residuais, adotou-se a metodologia desenvolvida Owen et al. (1979) e aperfeiçoada por Angelidaki et al. (2009) e pela norma VDI 4630 (VDI, 2016).

Desenvolvido para execução em escala laboratorial, conforme Angelidaki et al. (2009), a partir de biorreatores simples, estáticos, com capacidade de 250 mL (ALVES, 2008; SANTOS, 2019; BRITO-PAIVA, 2023), até biorreatores complexos, bem instrumentados - com equipamentos de alta tecnologia (SANTANA, 2023), com capacidade de 75 L (VALENÇA, 2017) e de 150 L (FIRMO, 2013), tais biorreatores possuem a versatilidade de analisar e quantificar o volume total de biogás e de metano de variadas biomassas (resíduos urbanos, hortifrutigranjeiros, industriais, oleaginosas etc.), permitindo-se aplicar variações, sendo possível alterar parâmetros físicos (temperatura, agitação, granulometria), físico-químicos (pH, DQO, sólidos voláteis etc.) e microbiológicos (anaeróbios facultativos - hidrolíticos, anaeróbios estritos, bactérias formadoras de esporos etc.).

De acordo com a Norma VDI 4630 (VDI, 2006), a determinação do potencial máximo geração de biometano de biomassas residuais é obtida após a estabilização da produção do biogás, que ocorre em, aproximadamente, 21 dias corridos, ou seja, em um tempo de detenção hidráulica de 21 dias.

Alves (2008), Brito-Paiva (2023) e Santana (2023) explicam, em seus respectivos trabalhos, que o tempo de detenção hidráulica para a máxima produção de biogás, e biometano, é dependente de parâmetros relacionados à biodegradação, como a presença de substâncias de fácil degradação, bem como a existência de materiais lignocelulósicos, os quais apresentam resistência às atividades enzimáticas oriundas das funções biológicas dos microrganismos.

Amplamente adotada por diversos autores, Holanda (2016), Firmo (2013), Brito-Paiva (2023), dentre outros, a metodologia do ensaio BMP adotada neste estudo baseou-se no trabalho desenvolvido por Alves (2008).

A elaboração do procedimento esquemático de preenchimento dos biorreatores BMP foi realizada utilizando-se 15 biorreatores. Executando o experimento em triplicata, realizou-se, primeiramente, o preenchimento com apenas um componente, denominado de branco, sendo eles: “Lodo Biológico”, “Lodo Industrial”, e “Resíduo Ceasa”. Posteriormente, realizaram-se as combinações, porém, fixando-se a presença do resíduo,

sendo eles: “Lodo Biológico + Resíduo Ceasa”, “Resíduo Ceasa + Água” e “Lodo Industrial + Resíduo Ceasa” (Figura 5).

Utilizando-se 50 mL de inóculo em cada biorreator e 5,0 g de substrato, conforme Alves (2008), foram elaboradas as configurações. É importante destacar que, de acordo com Beniche et al. (2021), a umidade de resíduos orgânicos é bastante elevada, superior a 70%. Diante deste dado, é necessário adicionar, em cada biorreator, uma massa de 34 g de substrato, para se ter uma massa de sólidos totais de 5,0 g, levando em consideração um valor médio de umidade de 85%.

Após a inserção dos ingredientes e combinações (Figura 5) em frascos de borossilicato de 250 mL, eles foram submetidos à circulação de gás N₂, e vedados com uma tampa de silicone acoplada a válvulas de alívio de gás e de um manômetro analógico, com escala de 0-1,0 kgf/cm². Posteriormente, eles foram incubados em estufa de secagem e esterilização ETE 393/2, à temperatura de 37°C (ALVES, 2008).

Os dados de geração acumulada e de taxa diária de produção de biogás foram obtidos através das equações existente em Alves (2008).

Figura 5 - Procedimento esquemático de elaboração das combinações para preenchimento dos biorreatores do experimento BMP

Combinações

- (3) Lodo Biológico – 150 mL
- (3) Lodo Industrial – 150 mL
- (3) Resíduo Ceasa + Água – (34 g *3) 102 g + 150 mL
- (3) Resíduo Ceasa + Lodo Biológico – (34 g *3) 102 g + 150 mL
- (3) Resíduo Ceasa + Lodo Industrial – (34 g *3) 102 g + 150 mL

Fonte: O autor

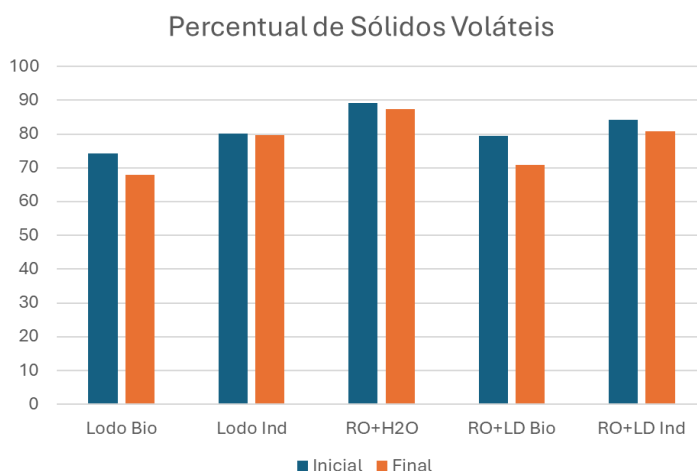
RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESÍDUOS HORTIFRUTIGRANJEIROS

Os resíduos hortifrutigranjeiros, na condição de substrato, apresentaram um percentual médio de umidade de 94%. Este valor está condizente com os dados mencionados por Beniche et al. (2021), que indicam que tais tipos de substâncias orgânicas contêm grandes quantidades de água em suas composições, o que possibilitam a rápida biodegradação dos seus elementos. Eck et al. (2000) explica que resíduos com elevados teores de umidade apresentam um processo hidrolítico bastante eficiente dos seus elementos, pois a presença da água contribui fortemente para a quebra de ligações químicas e a sintetizam de polímeros complexos. Além disso, a água dos resíduos funciona como um excelente elemento e agente de transporte de microrganismos e nutrientes entre os sítios, vazios e interstícios microscópicos do interior da massa de resíduos.

No que tange ao teor de sólidos voláteis dos resíduos hortifrutigranjeiros, estes apresentaram um percentual de 88%, ou 0,88 gSV/gST. Tais dados encontram-se coerentes e corroboram os valores apresentados por Xiao et al. (2013) e Lin et al. (2013) citados por Beniche et al. (2021), que mencionam que os teores de SV para resíduos orgânicos são superiores a 85%. Isto significa um resíduo com alto teor de biodegradabilidade, com grande quantidade de substâncias facilmente biodegradáveis, e uma pequena (ou inexistente) quantidade de substâncias mediana ou difícil degradabilidade. Porém, nem sempre um resíduo facilmente degradável produzirá uma grande quantidade de biogás. Pois isto está diretamente relacionado com as características específicas de cada tipo de substrato, conforme a Figura 6.

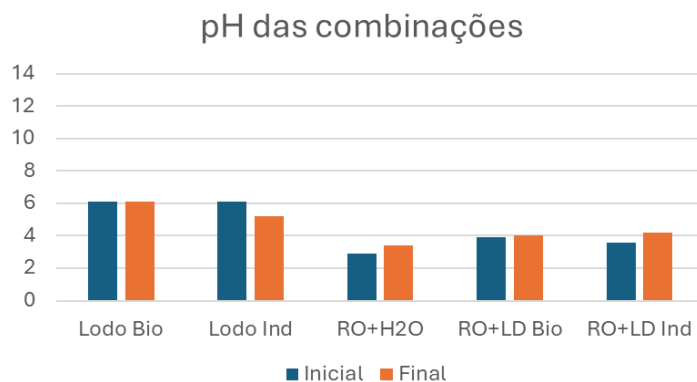
Figura 6 – Percentual de sólidos voláteis do substrato e dos inóculos, nos instantes pré e pós biodigestão.



Fonte: O autor

É importante evidenciar que tais resíduos apresentaram um potencial hidrogeniônico de 3,1 (Figura 7). Ou seja, um pH desfavorável ao processo de digestão anaeróbia, que ocorre no intervalo de 6,5 - 8,0, tendo seu ponto ótimo em um pH = 7,0 (neutro) (Beniche et al., 2021). Desta forma, é necessário/fundamental a adição de um agente químico tamponante, visando a correção do pH do sistema. Porém, neste estudo, visou-se a utilização do inóculo no papel de agente tamponante, com o intuito de verificar a sua capacidade em superar as adversidades geradas pelo ambiente ácido.

Figura 7 – Variação dos valores de pH das combinações de digestão anaeróbia



Fonte: O autor

LODOS BIOLÓGICO E SANITÁRIO

Os inóculos, lodos biológico e industrial, apresentaram potenciais hidrogeniônicos idênticos de 6,1. Tal valor encontra-se ligeiramente abaixo dos valores mencionados por Chernicharo (1997) e Von Sperling (2014).

Os teores de sólidos voláteis dos lodos biológico e industrial foram 81% (0,81 gSV/gST) e 71% (0,71 gSV/gST). Tais dados expõem que ambos os lodos apresentam grande quantidade de substâncias voláteis, porém é necessário evidenciar que não reflete, necessariamente, em biogás produzido. Tal substância pode ter uma elevada quantidade de sólidos voláteis, porém ter grande quantidade de celulose e lignocelulose, que são muito resistentes à degradação microbiológica.

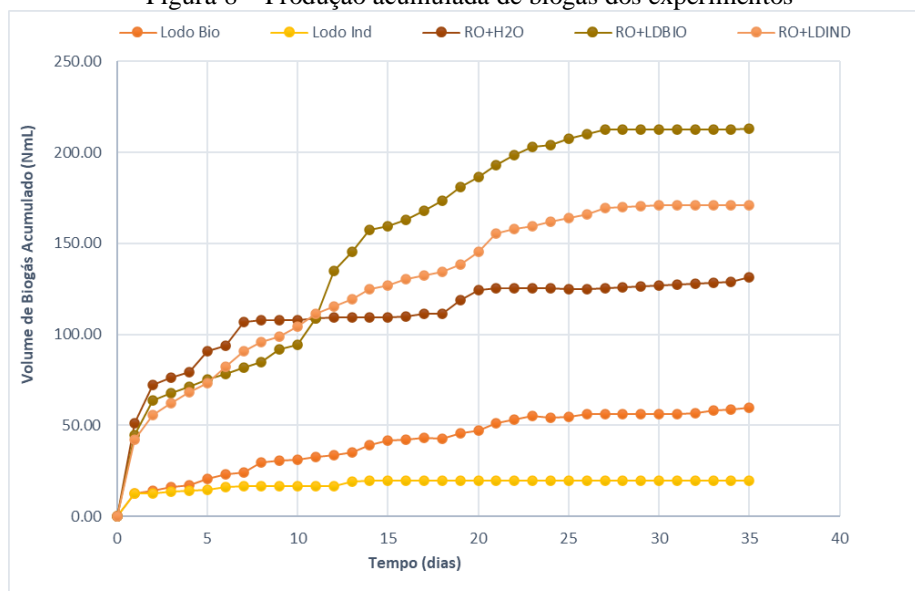
PRODUÇÃO ACUMULADA DE BIOGÁS

A Figura 8 expõe a produção acumulada de biogás das combinações estabelecidas neste trabalho. Verifica-se, de imediato, que a combinação “RO+LDBIO” atingiu um valor acumulado de 213,23 NmL. A combinação “RO+LDIND” atingiu 170,90 NmL de biogás, sendo a segunda maior geração de biogás. O “LDIND” apresentou valores irrisórios, atingindo apenas 19,76 NmL, no 35° dia de fermentação.



É possível observar que, entre os dias 2º e 10º, houve uma baixa taxa de geração de gás do “RO+LDBIO”, podendo ser devido à complexidade da fase hidrolítica, existente na digestão anaeróbia.

Figura 8 – Produção acumulada de biogás dos experimentos

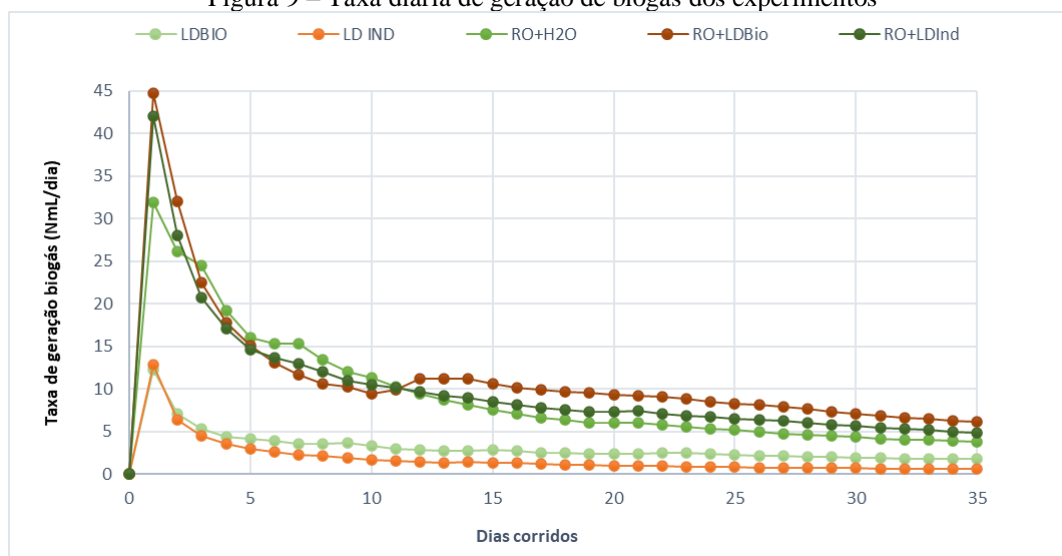


Fonte: O autor

TAXA DIÁRIA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

A Figura 9 expõe a taxa diária de produção de biogás dos experimentos. Verifica-se, também que a combinação “RO+LDBIO” apresentou os melhores valores de biogás produzidos, atingindo, no 1º dia de fermentação, 44,73 NmL/dia. Voltando a mostrar bons dados a partir do 12º dia de ensaio, atingindo 11,24 NmL/dia.

Figura 9 – Taxa diária de geração de biogás dos experimentos



CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES



Os resíduos orgânicos, incluindo os provenientes da CEASA Pernambuco, mostram-se promissores para a produção de biogás. Ajustes nas condições de digestão anaeróbia, como pH e temperatura, são essenciais para otimizar a produção. Condições desfavoráveis, como pH baixo, elevada carga orgânica etc., constituem-se fatores preponderantes para se obter uma digestão anaeróbia bem-sucedida. Neste estudo, foi possível verificar que o pH desfavoreceu o processo anaeróbio, refletindo em baixas reduções de carga orgânica, na condição de teores de sólidos voláteis removidos, e nas produções de biogás do sistema.

Análises detalhadas da composição dos resíduos, especialmente aqueles provenientes da CEASA Pernambuco, são cruciais para compreender seu potencial de biogás. Além disso, avaliações econômicas e ambientais são necessárias para determinar a viabilidade do processo, considerando também a origem dos resíduos. Políticas de incentivo e regulamentações são indispensáveis para promover essa prática. Em resumo, o estudo destaca a viabilidade e os benefícios do reaproveitamento de resíduos orgânicos, incluindo os da CEASA Pernambuco, para a geração de biogás, enfatizando a necessidade de medidas específicas para sua implementação bem-sucedida. Em resumo, o estudo destaca o potencial significativo dos resíduos orgânicos, tanto do efluente do rúmen bovino quanto da CEASA Pernambuco, para a produção de biogás. No entanto, para realizar esse potencial, é necessário um esforço robusto e multidisciplinar que aborde aspectos técnicos, econômicos, ambientais e regulatórios de forma integrada e coordenada.

Ao final do texto deverão aparecer as **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**, utilizando fonte Times New Roman, **corpo 10**, alinhamento de parágrafo justificado e espaçamento de parágrafo de 6 pontos (depois). No início de cada item bibliográfico deverá ser usado um marcador de numeração crescente, de acordo com exemplo abaixo.

2 linhas em branco, fonte Times New Roman, corpo 10

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, I. R. F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
2. ANDEIRA, F. J. S.; RIBEIRO JUNIOR, J. A. S.; MESQUITA, A. L. A.; MESQUITA, A. L. A.; TORRES, E. A. 2023. Potential use of palm oil and cocoa waste biomass as source of energy generation by gasification system in the state of Pará, Brazil. Engenharia Agrícola, v. 43. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43nepe20220151/2023>
3. ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACCONI, L.; CAMPOS, J.; GUWY, A.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. Water Science and Technology 59(5), p. 927-934. doi: 10.2166/wst.2009.040.
4. BANDEIRA, F. J. S.; RIBEIRO JUNIOR, J. A. S.; MESQUITA, A. L. A.; MESQUITA, A. L. A.; TORRES, E. A. 2023. Potential use of palm oil and cocoa waste biomass as source of energy generation by gasification system in the state of Pará, Brazil. Engenharia Agrícola, v. 43. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43nepe20220151/2023>
5. BRITO-PAIVA, E. P. L. Estudo Técnico do Aproveitamento de Resíduos Orgânicos do Centro de Abastecimento e Logística do Estado de Pernambuco Visando a Produção de Biogás. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2023.
6. TSHEMESE, Z.; DEENADAYALU, N.; LINGANISO, L. Z.; CHETTY, M. 2023. An Overview of Biogas Production from Anaerobic Digestion and the Possibility of Using Sugarcane Wastewater and Municipal Solid Waste in a South African Context. Applied System Innovation, v. 6, n. 13. Doi: 10.3390/asi6010013.