



INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO CASCA DE MANGA

Alana J. P. Silva¹ ; Alaim V. Silva¹; Sayonara A. Eliziário¹.

¹Núcleo de Pesquisa e Extensão do Laboratório de Combustíveis e Materiais (NPE-LACOM) - Universidade Federal da Paraíba (Campus I)

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos, Química Verde, Energia.

Introdução

Há uma demanda por processos e aplicações sustentáveis na produção e utilização de energia, de modo a minimizar o impacto da emissão de gases poluentes, produzidos pela ação humana advindos de fontes não renováveis (Baird e Cann, 2011). A busca de alternativas renováveis é um dos interesses da Química Verde, que segundo Vaz-Júnior et. al. (2013) busca substituir processos químicos que podem causar danos ao meio ambiente em favor de processos não-poluentes ou menos poluentes. Sabendo disso e devido à ampla diversidade de matérias-primas naturais, o Brasil possui potencial destaque para implementação de processos relacionados à Química Verde e a bioeconomia, em especial referência ao sétimo princípio, que ressalta que o “uso de biomassa como matéria-prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos” (Vaz-Júnior et. al, 2013).

O aproveitamento de resíduos alimentares pode ser realizado através da digestão anaeróbica, na qual a decomposição da matéria orgânica ocorre por uma série de reações metabólicas através de diferentes estágios onde compostos orgânicos complexos são hidrolisados. Nesses estágios as bactérias se desenvolvem sem a presença de oxigênio, para a formação de uma mistura de gases chamada de biogás, composta principalmente por CH₄, CO₂, NH₃ e H₂S, em quantidades a depender da biomassa utilizada e das condições do meio reacional. Nesse cenário, o biogás pode ser utilizado como biocombustível trazendo uma solução promissora no conceito de bioeconomia e economia circular.

Carvalho (2020 apud Gorayeb 2019) aponta o Brasil como o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma comercialização de aproximadamente 45 milhões de toneladas por ano, porém sem uma gestão adequada dos resíduos, do ponto de vista sustentável. De acordo com o MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços), o Brasil colheu por volta de 1,55 milhões de toneladas de manga no ano de 2022 e o Nordeste é o produtor, correspondente a 80% deste valor. A indústria de processamento de manga gera milhões de toneladas de resíduos sólidos, aproximadamente 40-50% da matéria-prima. As cascas e fibras das mangas compõem 7-24% do peso total da fruta (ABC Fruits, 2024). A utilização de resíduos de frutas, tais como a casca de manga pode viabilizar o melhor gerenciamento deste material, assim como a produção de energia limpa, reduzindo a necessidade de coletar, tratar e descartar um material biodegradável.

Os estudos sobre o potencial bioquímico de metano (BMP) na manga, feitos por Gunaseelan (2004), sugerem uma produção de metano que varia de 0,370 a 0,523 m³/kg de sólidos voláteis, maiores em relação à casca de banana (0,243 – 0,322m³/kg) e de abacaxi (0,357m³/kg), por exemplo. Para produzir biogás, as condições de preparo experimental da amostra precisam ser bem definidas, tais como a temperatura, o pH do substrato e a adição de nutrientes ou enzimas. O controle da temperatura deve ser feito durante o processo, porque os microrganismos se desenvolvem numa faixa de 25 a 60 °C (acima de 50°C apenas quando ocorre necessidade de higienização da matéria-prima) e o pH é determinado pelos

“metabólitos ácidos e alcalinos produzidos na decomposição anaeróbia”, sendo alguns tipos de bactérias (hidrolíticas e acidogênicas) desenvolvidas na faixa de 5,2 a 6,3 e outras (acetogênicas e arqueas metanogênicas), num pH de 6,8 e 8 (Brasil, 2010).

A adição de nutrientes também deve ser levada em consideração, já que “cada espécie de microrganismo envolvido na decomposição anaeróbia tem sua necessidade própria de vitaminas, micro e macronutrientes” (Brasil, 2010), o que pode influenciar na taxa de crescimento de bactérias e, conseqüentemente, numa maior produção de biogás. Além disso, as cascas de manga são ricas em lignocelulose e proteína bruta mas, possuem uma baixa relação C/N (Wang et al. 2016) que precisa ser ajustada. Outro ponto a ser levado em consideração é a formação de H₂S produzida, considerando que o sulfeto de hidrogênio é considerado um inibidor da produção de biogás, leva a problemas de corrosão em compressores e é ofensivo mesmo em concentrações muito baixas (Brasil, 2010).

O presente trabalho tem o objetivo analisar a produção de biogás e sulfeto de hidrogênio presente formado por cascas de manga, em comparação com cascas de outras frutas presentes na literatura.

Material e Métodos

As cascas de manga foram coletadas em um restaurante próximo a Universidade Federal da Paraíba. As amostras foram preparadas utilizando um processador de alimentos comercial, as quais foram misturadas com água em uma proporção de aproximadamente 8% de água em relação à massa total das cascas de manga, especificada na tabela 3. Em seguida, o substrato foi separado em frascos DURAN® de capacidade total de 500mL, com tampas de borracha de bromobutil para vedação, nos quais foi realizado vácuo por 5 minutos, após a adição das amostras. A tabela 1 especifica a composição, quantidade de amostra e a condição experimental pela qual cada frasco foi submetido.

Tabela 1 - Composição, quantidade e condições experimentais de preparo das amostras por frasco

Frasco	Caracterização da amostra em cada frasco
1	0,20021kg de casca de manga (sob temperatura de 27°C)
2	0,28794kg de casca de manga (sob temperatura de 27°C)
3	0,21930kg de casca de manga (sob temperatura de 27°C)
4	0,22602kg de casca de manga + 10mL de nutriente (sob temperatura de 27°C)
5	0,17945kg de casca de manga + 2mL de alcalinizante (sob temperatura de 27°C)
6	0,11683kg de casca de manga (sob temperatura de 27°C)
7	0,17949kg de casca de manga (sob temperatura de 35°C)
8	0,17942kg de casca de manga + 6mL de alcalinizante (sob temperatura de 27°C)
9	0,17895kg de casca de manga (sob agitação magnética de 1000rpm e temperatura de 27°C)

Nas amostras com acréscimo de alcalinizantes e suplementação de nutrientes, foram utilizados produtos da MLima Engenharia. O volume de gás foi medido por meio de um medidor de vazão de gás da MLima Engenharia, com valor de calibração de 2,64mL. As análises e coletas de biogás se deram a cada 4 dias, para todas as amostras, viabilizando uma comparação entre as condições estabelecidas e o volume de biogás obtido.

O biogás foi medido num esquema de acoplamento com entrada entre o frasco e o medidor de vazão de gás e saída para o detector e medidor de gás *Mettrins INS-1395*, para determinar as quantidades de H₂S (Figura 1).

Além do volume, foi comparado a diferença gravimétrica dos frascos, que tiveram as massas medidas antes e após as extrações do gás. No total, foram feitas 3 medições para cada frasco, totalizando 12 dias no tempo de retenção.

Resultados e Discussão

Os resíduos de casca de manga possuem em torno de 90-95% de Sólidos Totais e acima de 90% de Sólidos Voláteis, o que indica bons resultados, já que baixos níveis de ST representam um desafio para a digestão anaeróbica devido a mudança na morfologia microbiana do processo. Por outro lado, altos valores de SV correspondem à matéria orgânica capaz de ser prontamente convertida em biogás (Luna-Avelar, 2021). É relevante mencionar ainda que os valores de ST e SV de resíduos de culturas vegetais ou alimentares podem apresentar diferenças devido à composição da biomassa, que é influenciada quanto à localização, clima, variedade, tipo e controle de cultivo, bem como colheita. Compreendem também desafios na digestão anaeróbica da casca de manga, sua alta proporção de C na relação C/N, maior que 50%, e seu pH levemente ácido (4 a 5). A relação C/N é recomendada em uma faixa de 20–30% para que haja elementos suficientes para suprir as necessidades da população bacteriana (Karison et. al., 2014).

Em alguns estudos, os processos de digestão de resíduos alimentares são auxiliados pela inserção de outras biomassas com codigestores, para melhoria dessa relação e maior rendimento de biogás (Narendra et al., 2021). Em processos de digestão anaeróbica, se todo o processo ocorrer em um único reator, o pH ideal é entre 6,5 e 8, pois a metanogênese é a etapa mais crucial durante essa produção de biogás (Brasil, 2010).

A Figura 1 representa o esquema de acoplamento entre frasco, fluxímetro e medidor qualitativo do gás presente.

Figura 1 - Análise com medidor de vazão de gás



Fonte: autor (2024)

Cada uma das amostras nos 9 frascos foi medida a cada 4 dias, com o volume total de biogás extraído especificado na Tabela 2, assim como a quantidade de sulfeto de hidrogênio formado em cada frasco (no total de 12 dias).

Tabela 2 - Quantidade total de sulfeto de hidrogênio formado em cada frasco

Frasco	Volume total de biogás (10⁻⁶mol)	Quantidade de H₂S formada (μmol/mol)
1	58,08	27,9
2	258,72	48,1
3	150,42	25,1
4	264,0	34,1
5	92,4	19,7
6	126,72	29,6
7	100,32	22,0
8	200,54	251,6
9	52,8	31,0

Fonte: autor (2024)

Os volumes formados nos frascos que contém apenas biomassa (frascos 1, 2, 3 e 6) são menores em relação ao frasco com adição de nutriente (frasco 4), confirmando o que é descrito pela literatura sobre a necessidade de macro e micronutrientes na digestão anaeróbica, para a produção de biogás, pois “a taxa de crescimento e a atividade das diversas populações estão condicionadas à concentração e a disponibilidade desses nutrientes” (Brasil 2010). Estes dados de extração de biogás concordam com Gopinathan et. al. (2019) que expressa em seu trabalho o volume de 1577cm³ de biogás formado por resíduos de casca de manga com adição de nutrientes (em um tempo de retenção de 45 dias), reafirmando o potencial da casca de manga na produção de biogás e a importância da suplementação de nutrientes para as bactérias anaeróbicas.

O pH inicial da amostra, antes da digestão anaeróbica, foi outro parâmetro levado em consideração para a formação de biogás. O pH medido das cascas de manga é ácido, entre 5.0 - 6.0. Com o ajuste de pH pela adição de alcalinizante (frasco 8), o pH da amostra tornou-se levemente básico (8.0) e resultou num aumento na extração de biogás (Tabela 2). Estes dados são coerentes com os dados de Chiwendu et. al. (2019), que também obteve um aumento de mais de 25% no volume de biogás, comparado com amostras sem ajuste de pH, ao afirmar que “o ajuste de pH aumenta a produção de biogás”.

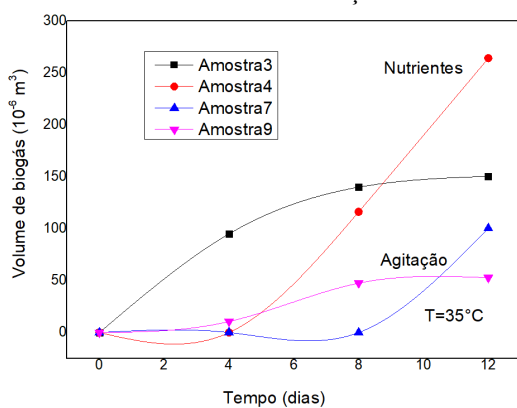
No entanto, ao analisar a quantidade de H₂S formada no frasco 8 com pH básico (Tabela 2), nota-se um alto valor de sulfeto de hidrogênio. Para que a presença de H₂S seja inibitória na formação de biogás, Brasil (2010) afirma que quanto menor o pH, maior o efeito inibitório”, o que explica o grande volume de biogás produzido num pH maior. Ainda que não tenha agido como uma substância inibidora, é necessário levar em conta a presença do H₂S

nos processos químicos, pois pode promover corrosão nos equipamentos de armazenamento e passagem do biogás, tais como biodigestores e medidores, assim como numa redução na produção de metano no sistema anaeróbio (Colturato, 2015).

Acerca do efeito de temperatura no frasco 7 (Figura 1), Wang et. al (2019) define que “é importante regular a temperatura para melhorar a produção de biogás na fase metanogênica”, estabelecendo que 35°C é a temperatura que mantém esta atividade metabólica e aumenta a produção de biogás. Sobre o frasco 7, notou-se uma cinética de produção do biogás mais lenta, isto é, o biogás no reator demorou mais tempo para ser produzido inicialmente (mais de 4 dias) na temperatura de 35°C e deve ser analisado em outros procedimentos, sob um tempo de retenção maior que 12 dias, a fim de saber se permanece produzindo em mais tempo.

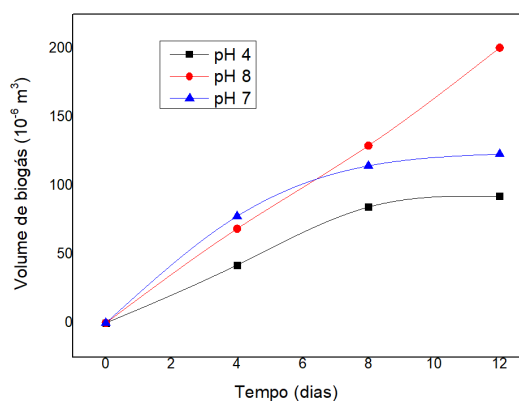
Ao colocar a amostra sob agitação, notou-se que o substrato no frasco 9 sofreu pouca agitação, devido ao elevado teor de parte sólida da amostra, não sendo um parâmetro efetivo para influência na formação de biogás, denotando a necessidade de um sistema próprio com maior energia para agitação. Na literatura, Leite et. al (2023) refere-se à uma ausência de consenso e padronização sobre o parâmetro de agitação devido a existência de “diferentes configurações e variáveis operacionais, o que traz uma dificuldade para identificar claramente como a agitação auxilia no aumento da geração de biogás”. Sobre a manga como biomassa, apontamos a necessidade de um agitador que se adeque a composição da amostra, a fim de analisar os efeitos na produção do biogás, além de compreender a amostra em seus componentes sólido e líquido, já que segundo Brasil (2010), o repouso pode influenciar na separação dos componentes devido às diferentes densidades.

Figura 2 - Volume de biogás em 12 dias sob diferentes condições



Fonte: autor (2024)

Figura 3 - Volume de biogás em 12 dias com variação de pH do substrato



Fonte: autor (2024)

Sendo assim, consideramos a melhor condição de produção a de substrato com nutriente (Figura 2) da amostra do frasco 4, pois houve maior formação de biogás concomitante à menor formação do H₂S (Tabela 2).

Por fim, na tabela 3, nota-se a diferença gravimétrica entre os frascos pesados antes da extração (massa inicial) e após a extração de biogás (massa final), em que a diminuição da massa após as medições de volume testifica qualitativamente a formação e a presença do biogás em todos os 9 frascos.

Tabela 3 - Massa de substrato por amostra

Amostra	Massa inicial (kg)	Massa final (kg)
1	0,20021	0,19882
2	0,28794	0,28456
3	0,21930	0,21800
4	0,22602	0,22376
5	0,17945	0,17903
6	0,11683	0,11629
7	0,17949	0,17865
8	0,17942	0,17788
9	0,17895	0,17863

Fonte: autor (2024)

Conclusões

Considerando os volumes medidos no medidor de vazão de gás e no medidor qualitativo de gás, nas 9 amostras analisadas e levando em conta os parâmetros referentes à variação no pH, adição de micronutrientes, temperatura e agitação, é possível concluir que a amostra preparada com adição de nutriente, em pH levemente ácido (resultante da própria casca da manga) resultou numa melhor condição para produção de volume maior de biogás, com menor quantidade de H₂S. Também é possível inferir que o ajuste da casca de manga para um pH básico aumenta a concentração de sulfeto de hidrogênio, na composição do biogás, desfavorecendo, neste caso, o seu uso. Sendo assim, a produção de biogás com a utilização de resíduos de casca de manga apresenta-se como recurso para a produção de biocombustível, em um pH levemente ácido e com suplementação de nutrientes.

Agradecimentos

Agradecemos à CNPq, à UFPB, à FAPESQ-PB e ao NPE-LACOM.

Referências

- Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Guia prático do biogás: geração e utilização do PROBIOGÁS - Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil. Brasília, 2010.
- BAIRD, C.; CANN, M. Química Ambiental. Porto Alegre: Grupo A, 2011.
- CARVALHO, R. V. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos: análise do potencial de geração de biogás proveniente da digestão anaeróbia da casca de tangerina. Orientador: Celso Romanel. 2020. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2020.
- CHIWENDU, A. O. et. al. The potential of biogas production from fruit wastes (Watermelon, Mango and Pawpaw). **World Journal of Advanced Research and Reviews**. v. 2, p. 52-65, 2019.
- COLTURATO, L. F. D. B. Dessulfuração de biogás da metanização da vinhaça: uma nova abordagem para remoção de altas concentrações de H₂S. Orientador: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. 2015. Tese (Doutorado) - Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- Esforços de sustentabilidade para a indústria de processamento de manga pela ABC Fruits, Tamil Nadu, 2024. Disponível em: <https://abcfruits.com/sustainability-efforts-for-the-mango-processing-industry-by-abc-fruits/>.
- GOPINATHAN, C.; VIVEK, A. T. Process Optimization for Enhanced Biogas Production from Mango Pulp Waste. **International Journal of Science and Research**. v. 5, p. 1772-1775, 2016.



GUNASEELAN, V. N. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. **Biomass & Bioenergy**, v. 26, p. 389–399, 2004.

KARLSSON, T., et. al. Manual básico de biogás. Lajeado : Ed. da Univates, 2014.

LEITE, S. A. F. The effects of agitation in anaerobic biodigesters operating with substrates from swine manure and rice husk. **Revista Chemical Engineering Journal**. v. 451, jan. 2023.

LUNA-AVELAR, Karla D. et al. A preliminary assessment of anaerobic co-digestion potential of mango and microalgal residue biomass using a design of experiments approach: Effect of thermal, physical and biological pretreatments. **Food and Bioproducts Processing**, v. 128, p. 143-152, 2021.

NARENDRA, N. et al. Characterization and feasibility of biogas yield using mango fruit peels and durva grass. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 4624-4629, 2021.

SILVA, Inês et al. Anaerobic co-digestion of municipal mixed sludge and mango peel biowaste: Performance and stability analysis for different ratios. **Results in Engineering**, v. 22, p. 102-142, 2024.

VAZ-JÚNIOR, S. **Biomassa para Química Verde**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013, 196p.

WANG, S. et. al. Influence of Temperature on Biogas Production Efficiency and Microbial Community in a Two-Phase Anaerobic Digestion System. **Revista Water**, v. 11, p. 1-13, 2019.