

Avaliação do tratamento de efluente da extração do óleo de dendê e potencial de produção de biogás

*Jozomar Ferreira Junior*¹, *Beatriz Fernanda Crotti*², *Sílvia Belém Gonçalves*³,
*Simone Mendonça*⁴, *Carmen Luisa Barbosa Guedes*⁵

Resumo

O óleo de palma ou dendê é o óleo comestível mais consumido mundialmente, sendo o dendê a oleaginosa que apresenta a maior produtividade por área. Os resíduos e efluentes gerados durante o processo produtivo do óleo vêm sendo utilizados como bioinsumos e biocombustíveis, a partir de diversos métodos físicos, químicos e biológicos de aproveitamento destes coprodutos. O presente estudo tem como objetivo avaliar o tratamento do efluente da extração do óleo de dendê (*POME*), visando a diminuição da carga orgânica e o potencial de produção de biogás, a partir do processo de digestão anaeróbia. Foram avaliados diferentes volumes de inóculo (30, 40 e 50%), a fim de determinar o volume ideal para a redução da carga orgânica do efluente e produção de biogás. Os experimentos foram conduzidos em 10 reatores anaeróbios de bancada, acoplados a manômetros para verificar a pressão interna exercida pelo biogás gerado. Foi utilizado o volume de 100 mL para as misturas de efluente com inóculo, ajustado para pH igual a 7, durante 10 dias de operação, sob temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Os resultados sugerem que o *POME* apresenta elevado potencial para a produção de biogás. O tratamento que aplicou 30% de inóculo gerou o volume de 338 mL com concentração de 65% de gás metano, além de reduzir a DQO em 47,3%, indicando assim uma diminuição significativa na carga orgânica do efluente. Adicionalmente, o *POME* após o processo de tratamento pode ser utilizado como biofertilizante através de fertirrigação para o cultivo de dendê, agregando valor a esta cadeia produtiva agroindustrial.

Palavras-chave: *POME*, Digestão Anaeróbia, DQO, Metano.

Introdução

O Brasil fundamenta-se economicamente na agroindústria e um setor que possui elevada representatividade na economia do estado do Pará é o da produção do óleo de palma ou dendê (*Elaeis guineensis*), uma palmácea que se destaca em relação às outras oleaginosas por ser a que possui a maior produtividade por área (Silva et al., 2018).

Entre os resíduos gerados durante a extração do óleo, tem-se o efluente líquido conhecido como efluente do óleo de palma ou *Palm Oil Mill Effluent (POME)*, caracterizado com um elevado potencial poluidor, além de excessivos volumes de geração pela alta

¹ Engenheiro ambiental, mestrando em Bioenergia, Universidade Estadual de Londrina, jozomar@uel.br

² Engenheira ambiental, mestranda em Bioenergia, Universidade Estadual de Londrina, beatriz.crotti@uel.br

³ Engenheira química, doutora em Engenharia Química, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, silvia.belem@embrapa.br

⁴ Farmacêutica e bioquímica, doutora em Saúde Pública, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, simone.mendonca@embrapa.br

⁵ Química, doutora em Química Orgânica, Universidade Estadual de Londrina, carmen@uel.br

demanda hídrica nesta cadeia produtiva, acarretando inúmeros impactos ambientais para o solo, recursos hídricos e biodiversidade quando disposto sem tratamento prévio e adequado no ambiente (Iskandar et al., 2018).

Diante das diferentes tecnologias de tratamento de efluentes e resíduos agroindustriais, a digestão anaeróbia, processo realizado por microrganismos na ausência de oxigênio, se destaca por conciliar a redução da carga poluidora destes por meio da degradação de compostos orgânicos com o aproveitamento energético, através da produção de biogás, evidenciando sua viabilidade ambiental e energética (Choong; Chou; Norli, 2018).

Para tanto, o presente estudo contempla avaliar o tratamento e a produção de biogás a partir do efluente líquido da extração do óleo de dendê (*POME*), através do processo de digestão anaeróbia, conciliando o tratamento com o aproveitamento energético deste efluente. Este estudo faz parte do projeto de pesquisa da Embrapa Agroenergia: DendêPalm – Estratégias genômicas e agregação de valor para a cadeia produtiva do dendê.

Material e Métodos

O *POME* - efluente líquido da produção do óleo de dendê e o cultivo de microrganismos anaeróbios, denominado inóculo, foram fornecidos pela empresa DENPASA – Dendê do Pará S/A localizada no município de Santa Bárbara do Pará, PA. O efluente líquido é proveniente de processamento do dendê híbrido, BRS Manicoré, que é uma cultivar desenvolvida pela Embrapa Agroenergia a partir do cruzamento entre o dendezeiro de origem africana (*Elaeis guineensis*) e o dendezeiro originário da região Amazônica caiuapé (*Elaeis oleifera*).

A coleta do efluente bruto para tratamento em laboratório foi realizada no final do processo produtivo, antes de ser encaminhado para as lagoas de tratamento.

O inóculo, constituído principalmente por microrganismos anaeróbios, foi coletado ao fundo da lagoa anaeróbia de tratamento do próprio efluente *POME*.

Tratamento do efluente *POME* por digestão anaeróbia

Para avaliar o tratamento e a produção de biogás do efluente *POME* híbrido através da digestão anaeróbia, foram empregados 10 reatores de bancada, equipados com tampa de nylon com uma válvula de saída de gás para análises periódicas da composição do biogás gerado e outra acoplada a um manômetro para monitoramento da pressão interna do sistema e verificação do volume de biogás produzido, conforme apresenta a Figura 1.



Figura 1. Reatores anaeróbios de bancada.

Foto: Jozomar Ferreira Junior

Os reatores anaeróbios de bancada possuem capacidade de 250 mL, sendo utilizado o volume de 100 mL para a mistura de *POME* e inóculo, operando em regime de batelada, durante 10 dias de processo fermentativo, variando o volume de inóculo em 30%, 40% e 50%, conforme o planejamento experimental realizado em duplicata, apresentado na Tabela 1, tendo como parâmetro resposta para o tratamento do efluente a variação da demanda química de oxigênio (DQO) e em termos de produção de biogás, o volume total de biogás produzido.

O pH das misturas *POME* e inóculo foi ajustado para valor igual a 7 utilizando solução de hidróxido de sódio NaOH 1M.

A temperatura foi controlada ($35\pm 2^\circ\text{C}$) através de uma estufa incubadora BOD, modelo 315D, verificando assim, o potencial de produção de biogás em faixa de temperatura mesofílica.

Tabela 1. Planejamento experimental.

Tratamento	Volume (mL)	
	<i>POME</i>	Inóculo
A	100	-
B	100	-
C	-	100
D	-	100
E	70	30
F	70	30
G	60	40
H	60	40
I	50	50
J	50	50

Produção de biogás a partir do efluente *POME*

Para a determinação do volume de biogás produzido foi utilizado o método manométrico (VDI 4630, 2016). Dessa forma, a pressão interna dos reatores foi monitorada diariamente através da leitura dos manômetros (kgf cm^{-2}).

A Equação 1 foi utilizada para a transformação dos dados através de formulações matemáticas, obtendo como resultado o volume (mL) de biogás produzido durante o processo de digestão anaeróbia em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

$$V_b \text{ gerado entre } T (T + 1) = \frac{[\text{PF (mbar)} \times \text{VUF (L)} \times 22,41]}{[83,14 \times \text{TF (K)}]} \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

V_b = volume de biogás (mL);

T = tempo (dias);
PF = pressão do frasco (milibar);
VUF (L): volume útil do frasco em litros;
TF (K): temperatura do frasco em Kelvin.

Foi realizada uma análise referente a cinética de reação e produção de biogás, conforme apresenta a Equação 2, que considera o volume acumulado de biogás.

$$V_b \text{ acumulado (mL)} = [V_b \text{ gerado entre } T \text{ e } (T + 1)] + V_{GA} \text{ (mL)} \quad (2)$$

Sendo:

V_b = volume de biogás (mL);
T = tempo (dias);
V_{GA} = volume de biogás acumulado do dia anterior (mL).

Monitoramento do biogás

As análises de composição do biogás foram realizadas diariamente, após a leitura dos manômetros, através do kit de análise de biogás da empresa AlfaKit®, com metodologia utilizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, para determinação de gases como metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) através do método de diferença de volume, que envolve absorção e oxidação seletiva. Esta metodologia consiste nas seguintes normas:

- EPA – *Environmental Protection Agency. Emissions Measurement Center, Método 3B CO₂, O₂ Orsat*;
- *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22ª Ed. 2012. 4500 F. 4-115. Método do Indofenol.*

Resultados e Discussão

Em relação à variação da carga orgânica, a Tabela 2 apresenta os valores iniciais e finais do processo de digestão anaeróbia do POME híbrido, bem como a redução (%) em termos de DQO.

A partir da Tabela 2 é possível observar os tratamentos A e B, que utilizaram 100% do efluente POME, bem como os tratamentos C e D, que aplicaram 100% de inóculo, não houve redução significativa de DQO, ou seja, isolados, tanto o POME quanto o inóculo, não são possíveis de realizar o tratamento do efluente e redução da carga orgânica. Destacando a importância da relação efluente/inóculo no processo de digestão anaeróbia, bem como o volume de inóculo utilizado no tratamento de efluentes. Como é possível verificar valores distintos de redução de DQO conforme o volume de inóculo utilizado nos experimentos.

Tabela 2. Valores iniciais, finais e redução de DQO para os tratamentos aplicados.

Tratamento	DQO inicial (g O ₂ L ⁻¹)	DQO final (g O ₂ L ⁻¹)	Redução de DQO (%)
A	23,56 ± 0,014	20,11 ± 0,015	14,6
B	23,06 ± 0,011	19,56 ± 0,021	15,2
C	17,41 ± 0,013	14,21 ± 0,005	18,4
D	18,26 ± 0,019	15,26 ± 0,032	16,4
E	22,41 ± 0,011	11,81 ± 0,004	47,3
F	24,06 ± 0,014	12,96 ± 0,006	46,1
G	22,21 ± 0,015	13,56 ± 0,012	38,9
H	23,16 ± 0,010	13,71 ± 0,003	40,8
I	22,71 ± 0,017	14,26 ± 0,009	37,2
J	23,86 ± 0,013	15,21 ± 0,001	36,3

Os tratamentos E e F que utilizaram um volume de 30% de inóculo, ou seja, 30 mL, foram os tratamentos que apresentaram maior redução de DQO, atingindo valores de 47,3 e 46,1%, respectivamente. Já os tratamentos que empregaram volumes maiores de inóculo, como no caso dos tratamentos G e H (40%), I e J (50%), alcançaram valores mais baixos em termos de redução de DQO, atingindo valores entre 36 e 40%. Demonstrando assim, a importância de avaliar o volume de inóculo a ser utilizado para o tratamento do efluente *POME* através do processo de digestão anaeróbia, uma vez que diferenças significativas em termos de redução da carga orgânica são possíveis de observar a partir dos diferentes tratamentos aplicados neste experimento.

Segundo Chernicharo (2005), o processo de digestão anaeróbia é altamente recomendado para o tratamento de efluentes agroindustriais, uma vez que, este processo pode chegar a reduzir entre 40 e 80% da carga orgânica do efluente avaliado.

Fang et al. (2011), avaliaram a eficiência do tratamento de efluente *POME* em reator anaeróbio durante 5 dias de reação, produzindo 440 mL de CH₄ por cada grama de sólidos voláteis removido, obtendo uma redução superior a 90% de demanda química de oxigênio (DQO). Por outro lado, Choorit e Wisarnwan (2007) avaliaram o tratamento do *POME* por digestão anaeróbia, observando em 7 dias de operação 71,1% de redução de DQO em temperatura de 37 °C. Ambos os trabalhos apresentaram valores superiores de redução de DQO quando comparados ao presente trabalho, esta variação ocorre devido ao processo de digestão anaeróbia ser vulnerável à qualquer alteração no meio, podendo prejudicar a eficiência do processo de tratamento, além disso, por se tratar de um efluente da extração de óleo, um elevado teor de óleos e graxas, bem como outros parâmetros de interesse, como metais pesados, podem inibir ou mesmo dificultar o processo de digestão anaeróbia e a produção de biogás consequentemente (Coelho et al., 2018).

A produção de biogás a partir do *POME* híbrido, pode ser observada na Figura 2, que apresenta o volume de biogás produzido a partir de cada tratamento aplicado ao longo dos 10 dias de experimento, exceto os tratamentos A, B, C e D, que foram utilizados como controle, não havendo produção de biogás.

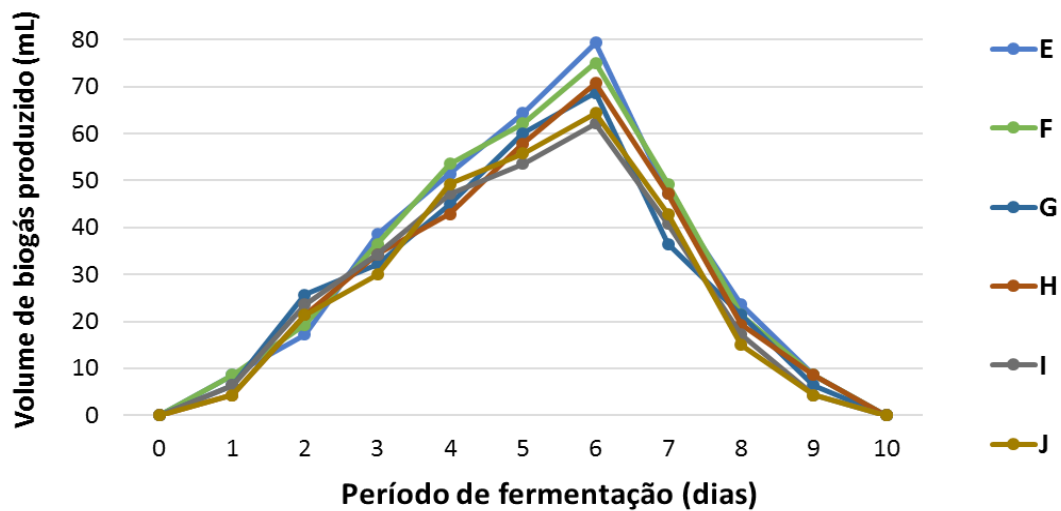


Figura 2. Volume de biogás gerado a partir dos tratamentos aplicados.

A partir da Figura 2 é possível observar valores semelhantes de produção de biogás para todos os tratamentos aplicados, isto ocorre devido ao valor do pH inicial das misturas *POME* e inóculo, que foram todos ajustados para valor igual a 7. Valores de pH próximos da neutralidade apresentam-se mais eficientes em estudos de tratamento de efluentes e produção de biogás através da digestão anaeróbia (Zhang; Hu; Lee, 2016).

É possível observar também, uma elevada produção de biogás no sexto dia de operação para todos os tratamentos, entretanto, os tratamentos E e F que utilizaram o volume de 30% de inóculo, apresentaram os valores mais elevados de produção de biogás, alcançando volumes de 79 e 75 mL, respectivamente.

A Figura 3 que apresenta a produção acumulada de biogás observada ao longo de 10 dias de fermentação, exceto os valores dos tratamentos A, B, C e D, os quais não produziram biogás.

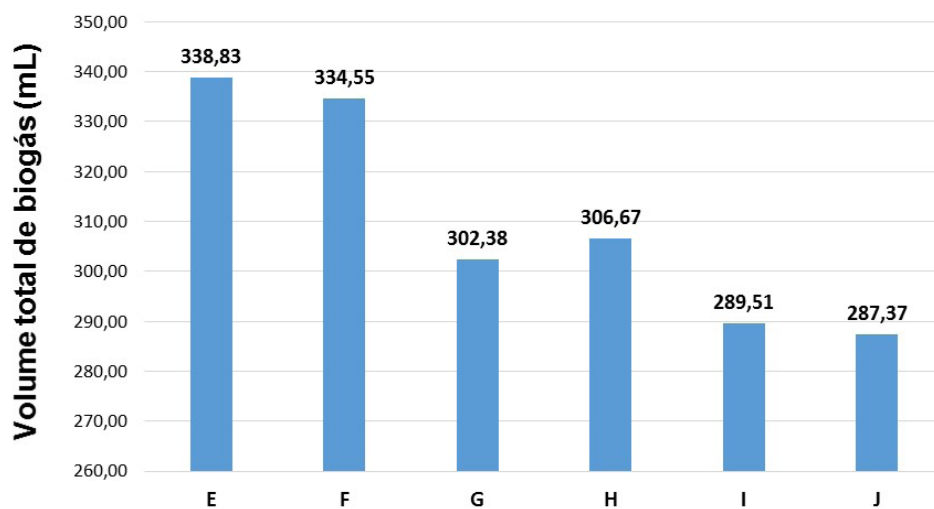


Figura 3. Produção acumulada de biogás.

A partir da Figura 3 é possível observar elevados volumes de produção de biogás a partir dos tratamentos E e F, que apresentaram produção de 338,83 e 334,55 mL de biogás, combinando 30% de inóculo com 70% de *POME*, além disso, verificando que maiores taxas de aplicação de inóculo como nos tratamentos G, H, I e J, (40% e 50%) não apresentaram-se satisfatórias para a produção de biogás a partir do efluente *POME*, produzindo valores na faixa de 290 e 300 mL de biogás ao longo de 10 dias de processo fermentativo.

No estudo realizado por Wang et al. (2015), foi avaliado a produção de biogás a partir de *POME* em reator anaeróbio operado a 37°C com 9 dias de operação, obtendo um volume de 27,65 m³ de biogás para cada m³ do efluente. Observando valores de 65 - 70% de metano na composição do biogás produzido.

A composição química do biogás produzido a partir do efluente *POME* híbrido está expressa na Figura 4, apresentando os percentuais de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) para os tratamentos aplicados.

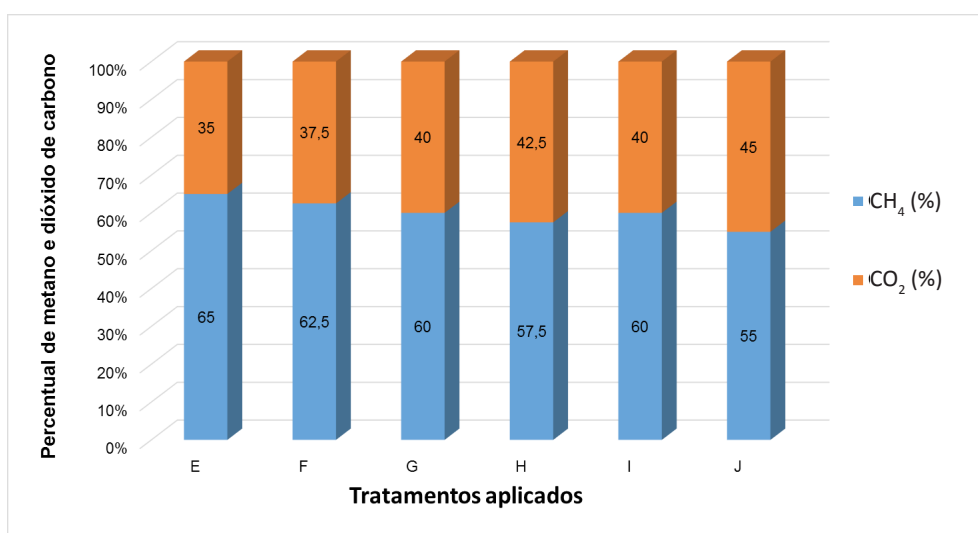


Figura 4. Composição do biogás produzido.

A partir da Figura 4, é possível observar novamente destaque para os tratamentos E e F que apresentaram uma relação E/I (70/30), produzindo uma média de 65 e 62,5% de gás metano, respectivamente, valores mais elevados que os apresentados pelos outros tratamentos aplicados, como 60, 57,5, 60 e 55% para G, H, I e J, respectivamente. Evidenciando assim, um maior potencial energético para E e F, devido a predominância do gás metano na composição química do biogás produzido ao longo de 10 dias de operação.

Conclusão

A combinação de 30% de inóculo em pH igual a 7 apresentou um volume total de 338,83 mL de biogás, sendo a máxima produção observada no sexto dia de operação (79 mL), com composição química média de 65% de gás metano. Além de atingir redução de 47,3% de DQO. Indicando assim, a situação ideal para a produção de biogás a partir do *POME* híbrido, uma vez que, tratamentos que combinaram valores mais elevados de inóculo não apresentaram a mesma eficiência no tratamento do efluente e na produção de biogás e metano.

Referências

- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, v. 5, n. 2, 380 p., 2007.
- CHOONG, Y. Y.; CHOU, K. W.; NORLI, I. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2993–3006, 2018.
- CHORRIT, W.; WISARNWAN, P. Effect of temperature on the anaerobic digestion of palm oil mill effluent. **Electronic Journal of Biotechnology**. ISSN: 0717-3458. v. 10, n. 3, 2007.
- COELHO, S., T.; GARCILASSO, V., P., FERRAZ JUNIOR, A., D., N.; MARIANOS dos SANTOS, M.; JOPPERT, C., L. **Tecnologias de produção e uso do biogás e biometano**. Instituto de Energia e Meio Ambiente da Universidade de São Paulo, IEE – USP. São Paulo, 209 p. 2018.
- FANG, C.; O-THONG, S.; BOE, K.; ANGELIDAKI, I. Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled palm oil mill effluent (POME). **Journal of Hazardous Materials**, v. 189, p. 229–234, 2011.
- ISKANDAR, M. J.; BAHARUM, A.; ANUAR, F. H.; OTHAMAN, R. Palm oil industry in South East Asia and the effluent treatment technology - A review. **Environmental Technology, Innovation**, v. 9, p. 169–185, 2018.
- SILVA, I. V.; VIEIRA, N. D. B.; BRUNI DE NÓBREGA, L. G.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. **Resources, Conservation, Recycling**, v. 131, p. 54-63, 2018.
- VDI 4630. Verein Deutscher Ingenieure. **Fermentation of organic materials**. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Berlin, Germany, 2006.
- WANG, J.; MAHMOOD, Q.; QIU, J. P.; LI, Y. S.; CHANG, Y. S.; LI, X. D. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent in pilot-scale anaerobic EGSB reactor. **BioMed Research International**, 7 p., 2015.