

Produção de Biogás a Partir da Degradação de Resíduos da Agroindústria de Biodiesel

Natally Fritz

Master Gestão Ambiental, Recife, Brasil, natallyfritz@hotmail.com

Christiane Corrêa

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Brasil, christiane.lyra@gmail.com

Alessandra Firmo

Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, Recife, Brasil, alessandra.lee@gmail.com

José Fernando Jucá

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, Brasil, jucah@ufpe.br

RESUMO: Com o avanço das políticas ambientais no Brasil e da necessidade de abranger conhecimentos e técnicas de novas formas de obtenção de energia, evitando assim futuros apagões e racionamentos, o mercado de energia renovável encontra-se em alta, sendo o biocombustível uma fonte bastante promissora. Nas agroindústrias de biodiesel, há um constante aumento de geração de resíduos (glicerina, a água de lavagem, a torta e a borra de óleo), resultantes do processo de produção do combustível, havendo a necessidade de gestão ou tratamento destes, valorizando seus subprodutos. O presente trabalho avaliou os principais tipos de resíduos gerados na Usina Piloto de Biodiesel de Caetés - Pernambuco e analisou o potencial de geração de biogás desses resíduos. No laboratório, foram realizadas análises comparativas entre diferentes combinações e percentagens de lodo (inóculo contendo grande concentração de microrganismos metanogênicos acelerando o processo da degradação da biomassa) e de subprodutos presentes na produção do biodiesel. Investigou-se através de ensaios de Potencial Bioquímico de Metano - BMP, a geração de biogás das amostras e simulou-se a capacidade de geração de energia elétrica. Com base nesses dados e no cálculo de eficiência energética, pode-se sugerir a adoção do uso de biodigestores com resíduos gerados na usina para produzir energia na unidade, possibilitando uma diminuição de 20% do consumo energético.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Agroindustriais, Biogás, Biodiesel, Energia.

1 INTRODUÇÃO

O biodiesel é considerado uma promissora fonte de energia em substituição aos derivados de petróleo, devido à sua neutralidade em relação ao CO₂, diminuindo significativamente as emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE.

A luz dos recentes avanços do mercado de energia renovável, impulsionado pelo aumento de produção de biocombustíveis no Brasil, Estados Unidos e Europa, há o consequente surgimento de uma nova rota de produção de resíduos, os resíduos de agroindústria de

Biodiesel.

Após a criação em 2004 do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) houve um grande aumento na difusão do biodiesel no País, e diante do grande potencial agrícola existente no Brasil, a produção de biodiesel teve um grande crescimento, aumentando o número de usinas produtoras. As usinas de produção de biodiesel provocam impactos ambientais principalmente em função da geração de resíduos, tornando necessária a realização de estudos para identificar e quantificar estes problemas, a fim

de promover a otimização do seu processo e buscar alternativas viáveis para melhor aproveitamento ou destinação destes materiais.

É necessária a elaboração de diretrizes direcionadas a temática dos resíduos no setor industrial, como também a regularização da geração dos resíduos e tratamento destes, sendo atualmente um grande gargalo encontrado, que necessita de legislação mais específica para esta tipologia de produção.

Com o quantitativo existente e a variedade de resíduos gerados em uma usina de biodiesel - que atendem parâmetros que possibilitam o reaproveitamento para fins energéticos - uma cadeia produtiva que inicia no campo e que pode ser processada em reatores de biodigestão para produção de biogás, configura a biodigestão como um importante vetor energético com grande versatilidade como fonte de energia, pois, suas características possibilitam a sua energia química ser convertida em energia elétrica, térmica e/ou veicular, auxiliando na variedade da matriz energética da própria agroindústria, e/ou nas comunidades vizinhas. Esta prática é incentivada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305 / 2010) e Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Nº 12.187 / 2009) regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010, onde fica estabelecido que um de seus objetivos é a redução das emissões de GEE's oriundos de diversas atividades humanas, inclusive às referentes aos resíduos e oficializa o compromisso do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (FIRMO, 2013).

Dentro do processo produtivo, há a problemática do consequente aumento da geração de resíduos na agroindústria. Para solucionar esse problema, existem diversas tecnologias que poderiam ser utilizadas para tratar e/ou destinar esses resíduos, dentre elas está a biodigestão anaeróbia em reatores. Assim, além de biodegradar os resíduos presentes nos reatores, estes mesmos resíduos em associação concomitante em suas estruturas físico químicas são capazes de executar determinadas funções metabólicas, havendo então a produção de energia elétrica a partir da

geração de biogás através desta sinergia, além de estabilizar o material para futuro uso como biofertilizante no campo impulsionando a produção agrícola. Para isso, precisa-se avaliar o potencial de geração de biogás e metano desses principais resíduos gerados na produção de biodiesel.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Biodiesel, a Cadeia Produtiva e suas Principais Matérias Primas

O biodiesel pode ser produzido à base de qualquer óleo natural retirado de plantas. No Brasil as oleaginosas são as mais utilizadas, como: soja, algodão, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, pinhão-manso ou a partir de ácidos graxos, como a gordura animal. Além da diversidade de solo, clima e tipos de oleaginosas – são mais de 100 plantas com potencial energético – cada região do Brasil tem sua vocação natural para a produção do biodiesel, como as palmáceas do Norte (dendê e babaçu) ou a soja, no Centro-Sul. Por possuir uma cadeia produtiva já estruturada, a soja é a cultura mais utilizada na fabricação do biodiesel brasileiro hoje, respondendo por cerca de 80% da produção. Em termos de produtividade, no entanto, outras oleaginosas possuem maior potencial energético. Citando especificamente o Dendê, por exemplo, é possível fabricar uma quantidade 13 vezes maior de biodiesel do que com a soja. Pinhão manso, algodão, girassol e amendoim também são consideradas fontes promissoras (PORTAL BRASIL, 2010).

A Lei 11097/05, define biodiesel como biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. (MAIA, 2010).

2.1.1 Cadeia Produtiva do Biodiesel

A cadeia produtiva de biodiesel mostrada esquematicamente na Figura 1 apresenta como segmentos principais da cadeia, os produtores

das oleaginosas, as usinas de extração do óleo, as indústrias produtoras de biodiesel, as distribuidoras, os postos de combustíveis e os consumidores (ALMEIDA, 2012).

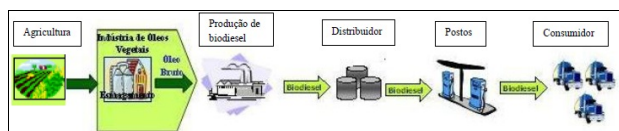


Figura 1. Fluxograma simplificado da cadeia produtiva de biodiesel (ALMEIDA, 2012).

Toda cadeia agroindustrial é grande produtora de diversificados resíduos, tais como resíduos vegetais de colheita, e resíduos do beneficiamento, cascas, palhas, caroços e tortas que podem ser aproveitadas energeticamente. Porém, o Brasil utiliza menos da metade dos seus resíduos, especificamente, não são aproveitados mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais (ALMEIDA, 2012).

Na cadeia do biodiesel na primeira etapa, na colheita, restam folhas e caules na lavoura. Na etapa seguinte na extração do óleo, resíduos como torta e farelo são considerados subprodutos ou coprodutos, dependendo do valor de venda destes materiais e em geral são utilizados como ração animal ou em adubação do solo. Outra alternativa possível é aproveitar o significativo percentual amiláceo e/ou lignocelulósico existente nessa biomassa residual para a produção de bioetanol através de processos hidrolíticos e fermentativo (SANTOS *et al.*, 2012).

Com relação ao processo de produção, o biodiesel é predominantemente produzido por uma reação denominada transesterificação, que consiste em uma reação de triglicerídeos (óleos vegetais ou gordura animal) com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres (o biodiesel) e o glicerol, como coproduto (PARENTE, 2003).

2.1.2 Biodegradação Anaeróbia

Em todos os processos de digestão anaeróbica da matéria orgânica apresentados, três etapas básicas estão envolvidas: hidrólise, fermentação (também conhecida como acidogênese) e metanogênese. A Figura 2 apresenta o esquema do processo de biodegradação.

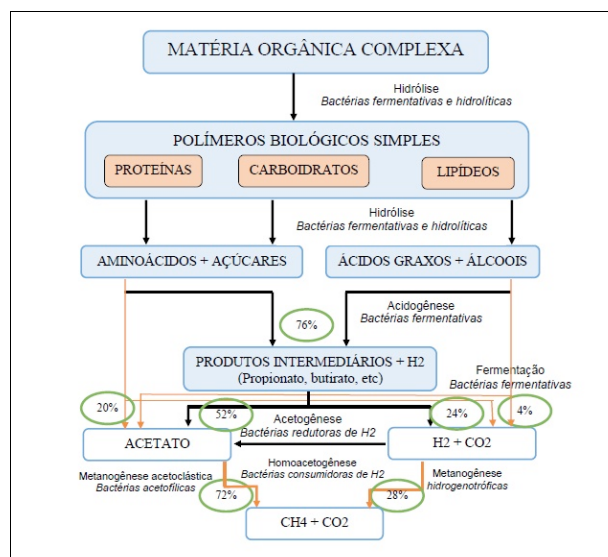


Figura 2. Fluxograma de biodegradação (FIRMO, 2013).

2.2 Caracterização da Usina

A usina de biodiesel no qual foi realizada a pesquisa está localizada no município de Caetés, no agreste de Pernambuco.

É uma usina experimental localizada na Zona Rural do Município, que foi implantada no início de 2006 com recursos do Governo Federal através do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

O município de Caetés faz fronteira com o município de Garanhuns, e está situado a 252 km de distância da capital do estado, Recife. Além da distância geográfica, o município também está socioeconomicamente distante no que tange os índices de desenvolvimento humano, (IDH) e consequentemente os índices de qualidade de vida.

Segundo dados coletados pelo IBGE para o ‘Mapeamento da Pobreza e Desigualdade nos Municípios Brasileiros’ em 2003, o município de Caetés tem uma incidência de pobreza de 68,08% comparada ao município de Garanhuns e de Recife (43,41% e 39,46%), o que reflete no padrão de consumo energético da população. Enquanto Garanhuns registra um consumo energético total cidade de 142.760 (Mwh) o consumo registrado no município em Caetés cai drasticamente para ínfimos 8.720 (Mwh). Grande parcela do consumo energético do município está localizada na zona rural (2.510 Mwh), local onde está situada a usina de biodiesel onde foi realizado o estudo,

ratificando a necessidade de realizar mais estudos com a finalidade de diversificar a matriz energética na região de forma sustentável, utilizando recursos já disponibilizados no local, além de possibilitar uma maior distribuição de energia para populações vizinhas, diminui o custo energético na própria unidade de produção.

A Usina, regulamentada pela ANP, possui capacidade de produção de 1m³ de biodiesel/dia, totalizando uma produção anual de aproximadamente 360 mil litros, utilizando óleo vegetal de várias espécies oleaginosas como matéria-prima para produção, sendo mais comum o óleo de algodão (ALMEIDA, 2012). Na unidade, existe um plantio experimental que analisa diferentes culturas de oleaginosas promissoras para produção de biodiesel. O caroço de Algodão (*Gossypium hirsutum*) é a principal matéria prima utilizada na unidade, porém o presente trabalho investigou em suas análises a torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*), cultura também promissora para produção de biodiesel, por haver disponibilidade nas coletas que foram realizadas.

A usina de Caetés tem licença de funcionamento para fins de pesquisa, sendo assim a geração de resíduos na unidade é pequena, porém em processos como a purificação do biodiesel e recuperação do álcool, existem geração de resíduos e demonstrado quantitativamente na Tabela 1. Apesar de ter capacidade de produção maior, a usina respeita o limite estabelecido pela ANP de 1m³/dia.

Tabela 1. Geração anual de resíduos na usina piloto de Caetés – PE (adaptado de ALMEIDA, 2012).

Resíduo/ Coproducto	Quantidade	Disposição	Tratamento	Destinação	Destino	Distância (Km)
Glicerina	30	Tanques	-	Doação/ Armazenamento	Garanhuns - PE	20
Borra de Neutralização do óleo	15	Tanques	-	Armazenamento	Própria Usina	-
Torta	240*	Caçambas	-	Adução	Própria Usina	-
Água de Lavagem do óleo	30	Tanques de Decantação	-	Fertilização	Própria Usina	-
Recicláveis	Não Informado	Abrigo de Resíduos	-	Reciclagem	Própria Usina	20

3 METODOLOGIA

3.1 Estudo na Usina Piloto

Os procedimentos de pesquisa utilizados para o estudo consistiram em adotar uma usina produtora de biodiesel no estado, identificação das matérias primas utilizadas no processo de produção de biodiesel na unidade estudada; realização de visitas técnicas para identificação dos resíduos produzidos no local, bem como, a destinação dada a cada um deles; coletas dos resíduos, e por fim, incubação em reatores e monitoramento da produção de gás no período de 60 dias.

3.2 Coleta e Amostragem dos Resíduos

Para realização da pesquisa foram utilizados resíduos da Usina de Biodiesel de Caetés – PE. As coletas foram realizadas em Outubro de 2012, na qual foram utilizados bobinas de 05 litros para armazenamento dos resíduos, foram eles: glicerina, torta de pinhão manso, água de lavagem, borra de óleo de algodão.

3.3 Ensaio BMP

A avaliação da biodegradabilidade dos resíduos analisados da usina foi feita através do ensaio *Biochemical Methane Potential - BMP* ou Potencial Bioquímico de Metano. O ensaio BMP se destina a avaliar a biodegradabilidade dos resíduos com base na produção total de CH₄ em condições ótimas de degradação (ALVES, 2008).

O inóculo utilizado nos ensaios (Lodo) foi proveniente de uma lagoa anaeróbia da Estação de Tratamento de Esgoto da COMPESA, localizada no bairro da Mangueira, Recife – PE, localizada no município de Recife-PE. Tão logo ocorreu a coleta, o lodo foi utilizado para o experimento a fim de manter preservada o *pool* de microrganismos presentes na amostra.

No laboratório as amostras foram submetidos à pesagem e trituração, com a finalidade de diminuir partículas dos resíduos, aumentando a superfície de contato do microrganismo com o meio, acelerando o processo de degradação, posteriormente foram formados grupos de ensaios. Utilizou-se frascos de vidro com tampa rosqueável, aos quais

foram acopladas válvulas de saída e entrada de gás e um manômetro de 1 kgf/cm², com escala de 0,02 kgf/cm², para controle da pressão interna de cada frasco. Os frascos foram envolvidos com papel alumínio para evitar influência da luz durante o processo de biodegradação.

Para preenchimento dos frascos BMP, uma câmara de fluxo laminar com exaustão foi utilizada para possibilitar o manuseio dos frascos preservando suas características e respeitando regras de biossegurança exigida nos laboratórios. Os substratos foram submetidos a degradação nos frascos de vidro de 250 mL, em 07 grupos, realizados em triplicata, como pode-se observar na Tabela 2.

Foram colocados 50 mL de inóculo nos grupos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com adição de suas respectivas misturas citadas acima, exceto pelo Grupo 1, o controle. O grupo 7 foi formado apenas de Glicerina e Torta, com a finalidade de observar a influência do lodo nesta mistura. Todos os frascos foram fechados e submetidos à circulação de uma mistura gasosa contendo 80% de N₂ e 20% de CO₂, com o objetivo de proporcionar a eliminação da atmosfera aeróbia existente nos frascos. Após dois minutos de entrada e saída da mistura gasosa, as válvulas foram fechadas e o manômetro acoplado.

Os frascos foram mantidos a 37°C durante 60 dias e, neste período, ocorreu monitoramento diário da pressão e temperatura interna dos frascos. De acordo com a pressão atingida no interior dos frascos.

Tabela 2. Composição dos grupos analisados no ensaio de BMP.

Grupo	Composição	Inóculo	Coproducto
1	Lodo (50g)	Lodo	Lodo
2	Lodo (50g) + Glicerina (5g)	Lodo	Glicerina
3	Lodo (50g) + Torta (5g)	Lodo	Torta
4	Lodo (50g) + Água de Lavagem (5g)	Lodo	Água de Lavagem
5	Lodo (50g) + Borra de Óleo (5g)	Lodo	Borra de Neutralização
6	Lodo (50g) + Glicerina (2,5g) + Torta (5g)	Lodo	Glicerina e Torta
7	Glicerina (50g) + Torta (5g)	Ausente	Glicerina e Torta

4 RESULTADOS

4.1 Análise da Geração de Biogás

Com a finalidade de obter um dado comparativo com os resultados das amostras com misturas, foram realizadas análises de BMP com o lodo, pois este tem uma alta atividade microbiológica, devido a eficiência dos microrganismos presentes em seu meio, proporcionando a produção de gás.

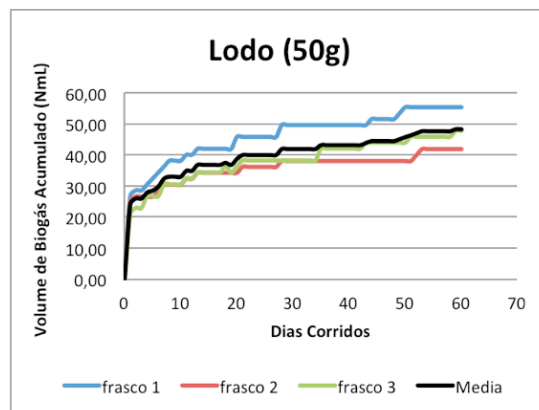


Figura 3. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo (Grupo 1).

Na Figura 3, observa-se que a geração média acumulada ao longo dos 60 dias de monitoramento foi de 48,46 NmL e o potencial de geração de biogás de 0,96926 NmL/g.

4.1.1 Análise do Lodo x Torta

No gráfico apresentado na Figura 4, nota-se que o frasco número 7 fugiu ao comportamento dos demais, praticamente ausente a geração de gás. Desta forma, descartou seu resultado, obtendo assim uma geração média de 186,4 NmL. Determinando o valor do volume de biogás acumulado através da subtração do obtido neste ensaio pela amostra apenas com lodo, tem-se um volume de 137,94 NmL e potencial de geração de 27,588. Como, segundo Firmo (2009), a geração de metano é aproximadamente 50% do valor obtido de biogás, tem-se que o potencial de geração de CH₄ é de 13,79 NmL, sendo um valor satisfatório, de acordo com Almeida (2012), que também testou pinhão manso (*Jatropha curcas*), tendo mistura com a glicerina bruta, mostrando alta capacidade para a produção de

biogás.

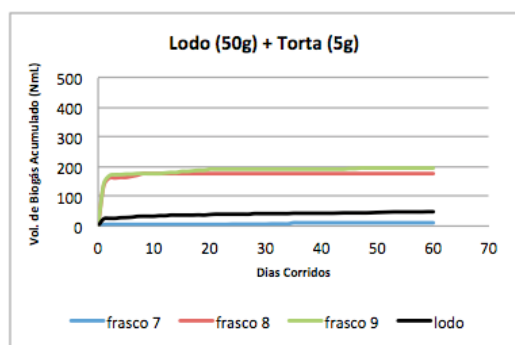


Figura 4. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo com adição de 10% de torta (Grupo 3).

4.1.2 Análise do Lodo x Água de Lavagem

Com um volume de biogás acumulado de 383,06 NmL, as amostras do grupo 4 (Figura 5), mistura de lodo com água de lavagem, calculou que o potencial de geração de CH_4 era de 76,61 NmL/g, apresentando valores mais significativos quando comparados aos demais grupos estudados. Isto se deve pela presença elevada de óleo diluído na água de lavagem, o que favoreceu a biodegradabilidade do meio.

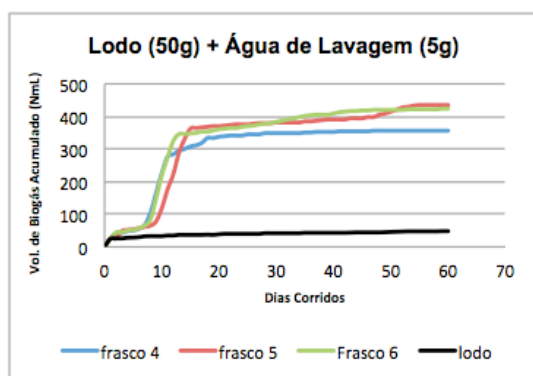


Figura 5. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo com adição de água de lavagem.

4.1.3 Análise do Lodo x Borra de Neutralização do Óleo

Analisando o gráfico da Figura 6, pode-se observar que houve inibição na atividade microbiana nas amostras, tendo valores inferiores as amostras de lodo (grupo 1). Desta forma, o volume de biogás acumulado e o potencial de geração de CH_4 foram negativos.

Quando estudado as características físicas da borra de óleo, verificou-se um alto teor de ácidos graxos, tornando o meio ácido para as bactérias fermentativas, gerando um baixo

índice de biodegradação, justificando os valores negativos apresentados por essas amostras.

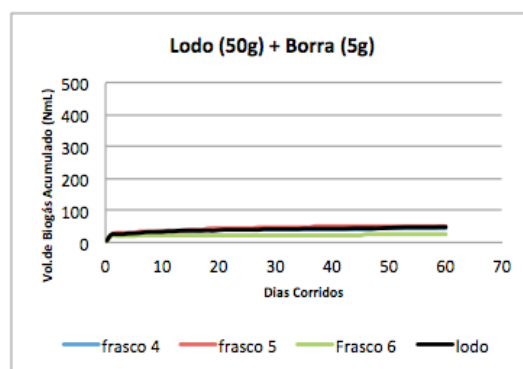


Figura 6. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo com adição de borra (Grupo 5).

4.1.4 Análise do Lodo x Glicerina

No gráfico da Figura 7 observa-se que houve inibição na geração de biogás no meio, como nas amostras do grupo 5 (lodo + borra de óleo), o que não permitiu que fosse definido o potencial de geração de biogás nessas condições. Na literatura, a grande maioria dos trabalhos publicados indicam que a produção de biogás aumenta com o aumento da percentagem de glicerina no reator (ALMEIDA, 2012). Logo, conclui-se que o teor de glicerina nestas amostras estava abaixo do esperado para obter uma produção de biogás satisfatória.

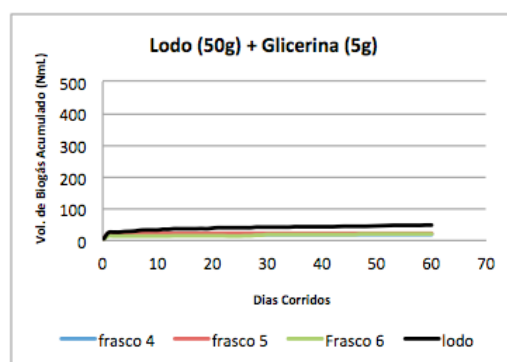


Figura 7. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo com adição de glicerina (Grupo 2).

4.1.5 Análise do Glicerina x Torta

Este ensaio, apresentado na Figura 8, foi realizado com o intuito de avaliar capacidade de produção da glicerina em adição com o lodo. Observou-se que não foi possível produção do biogás utilizando a glicerina e a torta em proporções de 90% de glicerina e 10% de torta

com a ausência do inóculo, havendo inibição. Com valores menores que 5% há a possibilidade de que não haja inibição e obtenha-se um melhor aproveitamento da geração de biogás.

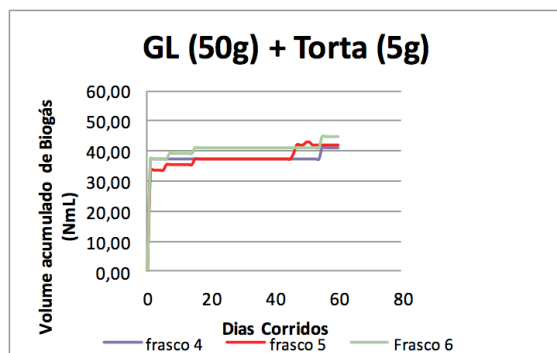


Figura 8. Comportamento da geração de biogás nas amostras de glicerina com adição de torta (Grupo 7).

4.1.6 Análise do Lodo x Glicerina x Torta

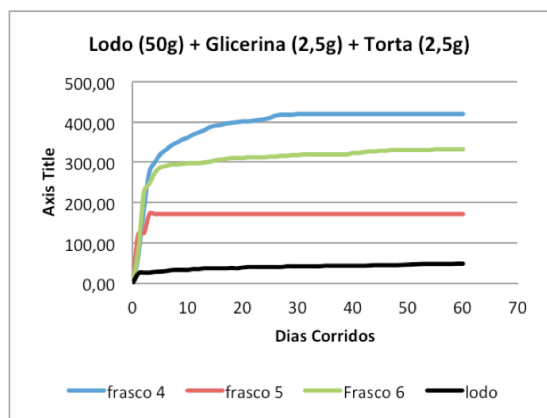


Figura 9. Comportamento da geração de biogás nas amostras de lodo com adição de glicerina e torta (Grupo 6).

As amostras desse grupo 6 foi idealizada devido aos baixos valores resultantes da mistura lodo + glicerina. Desta forma, reduziu pela metade a quantidade de glicerina e acrescentou a mesma quantidade de torta com a finalidade de obter uma melhor atividade microbiana nas amostras. A sinergia entre os três resíduos colaborou para uma eficiente produção energética, resultando num volume acumulado de 328, 87 NmL e em uma potência de produção de CH_4 32,8873 NmL/g (Figura 9).

4.2 Capacidade de Geração de Energia Elétrica

4.2.1 Simulação

Dados coletados informam que a usina de biodiesel consome 5.600 kW/mês ou 7,77 kW/mês. Para obter-se a energia gerada em J/s, é utilizada a Equação I.

$$W = \text{Energia Gerada} / \text{mês (kJ/ mês)} \times 3,858 \times 10^{-4} \text{ J/s} \quad (\text{I})$$

E a energia gerada por mês é expressa na Equação II.

$$\text{Energia Gerada} / \text{mês} = \text{Poder Calorífico } \text{CH}_4 \text{ (kJ/m}^3\text{)} \times \text{Volume (m}^3\text{/mês)} \quad (\text{II})$$

Tabela 3. Valores de energia e de potencia instalada na usina de biodiesel de Caetés.

Volume (m ³ /mês)	Energia		Potência instalada	
	Poder calorífico CH_4 (kJ/m ³)	Energia gerada /mês	W	kW
502,01	35.600	17.871.556	6.894	6,89484631

Segundo Maciel (2009), o poder calorífico inferior do CH_4 é 35.600 kJ/m³. Portanto, os valores de energia e de potência instalada na usina de biodiesel de Caetés são apresentados na Tabela 3.

Sendo assim, com os resíduos colocados em condições ótimas de biodegradação, respeitando as proporções feitas neste estudo, a usina tem condições de mitigar 20% de seu consumo energético por dia (Tabela 4).

Tabela 4. Energia consumida por dia e percentagem de potência.

Energia Consumida (kWh)	Energia que pode ser gerada (kWh)	Energia gerada/consumida (%)
35	6,9	19,7

Conforme a Tabela 5, que sugere a proporção de resíduos gerados na usina, propõe-se um biodigestor com capacidade de absorver 31,25 toneladas dos resíduos produzidos, respeitando as condições propostas nas análises de BMP, como ilustrado na Figura 9. O único resíduo que ultrapassa a proporção sugerida é a torta, sendo necessário o excedente receber outra destinação.

Tabela 5. Proporção de resíduos gerados na usina Caetés.

Proporção (%)	Quantidade (m3/mês)	Resíduo/Coproduto	Quantidade (t/ano)
9,52	2,5	Glicerina	30
4,76	1,25	Borra de neutralização do óleo	15
76,19	20	Torta	240
9,52	2,5	Água de lavagem do óleo	30

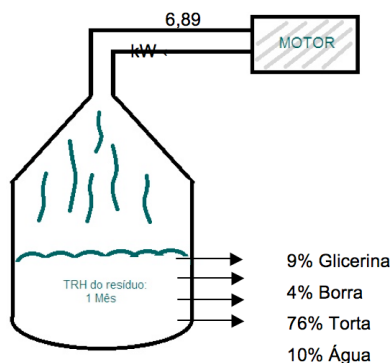


Figura 10. Proporção a ser utilizada no biodigestor para produção de biogás.

5 CONCLUSÃO

O ensaio BMP apresenta-se como uma boa ferramenta para quantificar o potencial de geração de biogás de resíduos de agroindústria. Com a utilização de medições dos gases gerados e a obtenção dos dados de volume de produção de biogás, obtém-se parâmetros de quantificação de produção das misturas.

Com base nos dados obtidos, observou uma diminuição de 20% do consumo energético, sendo uma boa sugestão a adoção da utilização de biodigestores com resíduos gerados na usina para produção de energia da própria unidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao corpo docente que estimulou esse trabalho, a Usina de Bioenergia do MCT localizada em Garanhuns - PE e ao CETENE/MCT, que nos ofereceu estrutura e financiamento para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. M. V. Logística reversa para gestão de resíduos e coprodutos da cadeia de biodiesel – estudo de caso em usinas do nordeste brasileiro. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2012.
- ALVES, I.R.F. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2008.
- FIRMO, A. L. B. Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2013.
- HOLANDA, A. Biodiesel e Inclusão Social. Brasília, Caderno de Altos Estudos, 200 p., 2004 (Caderno Altos Estudos). Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/a-camara/altosestudios/pdf/biodiesel-e-inclusao-social/biodiesel-e-inclusao-social>>. Acessado em 20 de setembro de 2013.
- IBGE, Mapeamento da Pobreza e Desigualdade nos Municípios Brasileiros. IBGE. 2003, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?tema=mapapobreza2003>> Acesso em 06 de Junho de 2013.
- MAIA, S. G.; PINHEIRO, B. F. S.; BALDEZ, I. S. Biodiesel : uma nova fonte de energia obtida pela reciclagem de óleos residuais. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 1, p. 417-426, 2010.
- MACIEL, F.J. (2003). Estudo da geração, percolação e emissão de gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 173p.
- MAPA, Plano Nacional de Bioenergia 2006-2011. Ministério de Agricultura, Agropecuária e Abastecimento, MAPA, 2005, Brasília – DF, 120 p.
- PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. UniGráfica. 66p. Fortaleza-CE, 2003.
- PORTAL BRASIL, 2010. Oleaginosas brasileiras variadas podem gerar biodiesel. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2010/10/oleaginosas-brasileiras-variadas-podem-gerar-biodiesel> Acessado em 23 de abril de 2013.
- SANTOS, A. S.; SANTOS, R. S.; SILVA, R. R. G. C.; LANGBEHN, R. K.; SILVA, A. A.; SANTOS, H. T. L. dos; PANTOJA, L. Avaliação do potencial das tortas de algodão, girassol e macaúba para produção de bioetanol. In: 5º Congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel. Salvador-BA, 2012.