

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Métricas de Sustentabilidade para o Processo de Produção do Biodiesel

AUTORES:

Cláudia Daniela Melo Giaquinto, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa, Luiz Stragevitch

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal do Rio de Janeiro

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

MÉTRICAS DE SUSTENTABILIDADE PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Abstract

Biodiesel is a promising renewable fuel capable of bringing benefits for the social, the environmental and the economic spheres. An important approach is related to sustainability of biodiesel production, which can be evaluated by sustainability metrics. This work aimed to determine sustainability metrics for the process of methylic biodiesel production obtained from two different raw materials: tallow and soybean oil. The calculated metrics were Material Efficiency (E Factor), Life Cycle Energy Efficiency (LCEE) and Fossil Energy Ratio (FER). The metrics were obtained based only in the conversion process of the raw material in biodiesel, and the parameters for calculating them were taken from the process simulation in the software Aspen HYSYS® 2006. In general, the sustainability metrics results implied that the process from the tallow is more sustainable than the process from soil oil.

Introdução

O biodiesel é um biocombustível bastante popularizado no Brasil, trata-se de um combustível adequado para o uso em motor diesel que pode ser gerado a partir de qualquer fonte de ácidos graxos (óleos vegetais, gordura animal, óleo utilizado em frituras, dentre outras). Porém, deve ser considerada a viabilidade técnica e econômica para produzir e obter o óleo ou gordura em grande escala a fim de atender à demanda de biodiesel e para transformar a matéria prima em produto final (SUAREZ *et al.*, 2009).

A necessidade de diversificar a matriz energética e de diminuir a dependência de combustíveis fósseis, como o diesel, no Brasil e no mundo é muito grande, pois, sabe-se que o mesmo é proveniente de uma fonte de energia não renovável, o petróleo. O biodiesel é totalmente compatível com o diesel de petróleo, além de apresentar diversas vantagens em relação a esse combustível, a saber: o fato de ser proveniente de matérias-primas renováveis de ocorrência natural, biodegradável, gerar redução na emissão dos principais gases de efeito estufa e apresentar excelente lubricidade. Porém, ainda há muitas desvantagens como, por exemplo: alto custo, aumento da emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e baixa estabilidade à oxidação (KNOTHE *et al.*, 2006). Atualmente, no Brasil, o biodiesel é utilizado como um aditivo e, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o diesel deve conter 7% em volume de biodiesel, conhecido como B7, com perspectivas para aumento gradual desse percentual ao longo dos anos.

Através de uma análise superficial, pode-se dizer que o biodiesel é uma ótima opção em termos de sustentabilidade. No entanto, para avaliar essa ideia, análises mais detalhadas, levando-se em consideração impactos econômicos, ambientais e sociais necessitam ser realizadas. Esses aspectos podem ser validados pelo uso das métricas de sustentabilidade, que se utilizam de indicadores para a representação do sistema com a finalidade de avaliar rotas alternativas de sustentabilidade para um determinado processo (MATA *et al.*, 2011).

Em outras palavras, as métricas possibilitam uma avaliação prévia da sustentabilidade de um sistema (MARINAS *et al.*, 2014). Sendo, portanto, uma ferramenta de grande valia para a tomada de decisão, pois oferece uma medida quantitativa de fatores que são, em sua expressiva maioria, avaliados qualitativamente (MATA *et al.*, 2011).

Com base no que foi apresentado, o presente trabalho teve como objetivo geral a comparação do processo de produção do biodiesel metílico de soja com o biodiesel metílico de sebo bovino em termos de sustentabilidade. Os objetivos específicos compreenderam a determinação de métricas de sustentabilidade, a saber: eficiência material (Fator E), eficiência energética do ciclo de vida (LCEE) e razão de energia fóssil (FER), cujos dados necessários para os cálculos foram obtidos da literatura e da simulação de ambos processos no software Aspen HYSYS® 2006.

Metodologia

Definição dos limites do sistema

A cadeia de suprimento para a produção de biodiesel pode ser dividida em sete estágios, a saber: obtenção das sementes ou da gordura, transporte desse material para extração, extração do óleo ou derretimento da gordura, transporte desse material para a produção, produção do biodiesel, distribuição do biodiesel e seu uso final. A avaliação da performance de sustentabilidade do biodiesel deve considerar os aspectos econômicos, ambientais e sociais de cada uma dessas etapas discriminadas, sendo as que envolvem a obtenção e preparação da matéria-prima e a produção do biodiesel as de maior importância. (MATA *et al.*, 2011). O estudo aqui discutido foi realizado considerando apenas a etapa de produção desse biocombustível a partir do sebo bovino e do óleo de soja, através da reação de transesterificação metílica alcalina. A comparação entre esses dois tipos de produção, através dos indicadores de sustentabilidade, permitiu o diagnóstico do processo mais sustentável do ponto de vista holístico.

Indicadores de sustentabilidade

MATA *et al.* (2011) fizeram uma análise dos impactos causados pela cadeia de produção do biodiesel com a finalidade de identificar a importância de cada um deles nos diferentes estágios da cadeia de suprimento. Para a etapa de produção do biodiesel, os impactos mais significantes foram os seguintes: emissão de gases de efeito estufa, uso de energia, água e químicos, efluentes aquosos a serem tratados, fluxo de caixa líquido gerado, empregos e risco potencial químico.

A identificação desses impactos auxiliou na escolha das métricas a serem determinadas, a partir das quais foi comparada a sustentabilidade do biodiesel produzido a partir de diferentes matérias primas. Nesse texto, foram avaliadas as seguintes métricas: eficiência material, eficiência energética do ciclo de vida (LCEE) e razão de energia fóssil (FER) (MATA *et al.*, 2011; MARINAS *et al.*, 2014).

O fator E corresponde à razão entre a quantidade de resíduos produzidos no processo por quilograma do produto desejado (Equação 1). Entende-se por resíduos todos os componentes do processo, exceto o produto pretendido. Logo, esse parâmetro leva em consideração o rendimento químico da reação, assim como reagentes, perda de solventes, processos auxiliares e combustíveis. A única exceção é a água, que geralmente não é contabilizada no cálculo desse fator, por tornar comparações difíceis de serem realizadas devido à elevação do fator E (SHELDON, 2007). Uma vez calculado o fator E, a partir dos dados de balanço de massa obtidos através da simulação de processos, determina-se a eficiência material, E_m , cuja relação está apresentada na Equação 2.

$$E = (\text{Massa de resíduos gerados})/(\text{Massa do biodiesel}) \quad (1)$$

$$E_m = 1/(E+1) \quad (2)$$

A eficiência energética do ciclo de vida (LCEE) foi calculada através da relação entre a energia produzida (saída) pela energia consumida (entrada), a partir dos dados de balanço de energia da

simulação (Equação 3). No caso de algum subproduto apresentar a possibilidade de ser utilizado como substituto de energia fóssil ou eletricidade, o mesmo pode ser computado como energia de saída. (MATA et al., 2011).

$$E = E_s / E_e \quad (3)$$

O FER é um indicador semelhante ao LCEE, diferindo apenas pelo fato da razão ser determinada em relação à energia fóssil utilizada na entrada do processo (Equação 4). Esse fator expressa o grau de renovação de um dado combustível, ou seja, mede o benefício ambiental de não utilizar energia fóssil (PRADHAN et al., 2008).

$$E = E_s / E_{e,f} \quad (4)$$

Simulação de Processos

O processo de produção do biodiesel foi simulado no Aspen HYSYS® 2006. O primeiro passo da simulação consistiu na introdução de todos os componentes químicos a serem utilizados no processo. Com exceção do óleo de soja e do sebo bovino, todas as outras substâncias foram representadas diretamente por componentes presentes na biblioteca do software.

A partir das composições aproximadas do óleo de soja, sebo bovino, biodiesel de soja e biodiesel de sebo bovino em termos de ésteres metílicos (CUNHA, 2008), foram escolhidos os compostos para representar o sebo bovino e o óleo de soja no ambiente de simulação. No caso do sebo bovino, escolheu-se a triestearina, $C_{57}H_{110}O_6$, e para o óleo de soja, a trilinoleína, $C_{57}H_{98}O_6$. O biodiesel de sebo bovino foi representado pelo estearato de metila e o de soja, pelo linoleato de metila.

Para a inserção do triacilglicerol no HYSYS®, utilizou-se a ferramenta *Hypotheticals*, a partir da qual foi possível a criação de um componente hipotético. Inicialmente, o composto foi inserido em termos de grupos funcionais e algumas de suas propriedades foram estimadas a partir do modelo de contribuição de grupos UNIFAC (do inglês, UNiversal QUAsiChemical Functional-group Activity Coefficients). Os grupos da triestearina e da trilinoleína foram determinados a partir de sua estrutura química e estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1: Número de grupos funcionais da triestearina e da trilinoleína.

Grupo	Triestearina	Trilinoleína
CH ₃	3	3
CH ₂	47	35
CH	1	1
CH ₂ COO	3	3
CH=CH	-	6

No entanto, também é necessário conhecer algumas propriedades dos componentes, a saber: peso molecular, temperatura normal de ebulição, massa específica, propriedades críticas (temperatura, pressão e volume) e fator acêntrico. Esses dados foram coletados e estimados para a triestearina e para a trilinoleína por VENDRAMIN (2010) e foram utilizados no presente trabalho.

Após a definição dos componentes, a etapa seguinte foi a escolha do modelo termodinâmico a ser utilizado nos processos. Para o presente trabalho, utilizou-se o modelo NRTL (do inglês, Non Random Two-Liquid), que vem apresentando resultados satisfatórios para simulações de sistemas de biodiesel (ZHANG *et al.*, 2003; MESQUITA *et al.*, 2011; ANDRADE *et al.*, 2012).

Antes de migrar para o ambiente de simulação, foi necessário inserir as reações que fazem parte do processo. De acordo com a equação de transesterificação, 1 mol de triglicerídeo reage com 3 mols de metanol, formando 1 mol de glicerol e 3 moles de metil ésteres.

Escolheu-se incluir as reações de transesterificação no HYSYS® como sendo reações de conversão, que consiste em uma abordagem simples e de fácil descrição, visto que apenas são necessários os coeficientes estequiométricos e a taxa de conversão. Para esta última, o HYSYS® possui uma equação que descreve a conversão (X) em função da temperatura (T) (Equação 5), cujos coeficientes (C_i) precisaram ser especificados.

$$X(\%) = C_0 + C_1T + C_2T^2 \quad (5)$$

Para a simulação neste trabalho, foram considerados os seguintes valores dos coeficientes: $C_0=95\%$ e $C_1=C_2=0$. Esses valores foram adotados com base no trabalho de ZHANG *et al.* (2003), apresentando compatibilidade com os valores de conversão expostos na literatura para a reação de transesterificação alcalina (VENDRAMIN, 2010).

VENDRAMIN (2010) apontou que a desvantagem de se utilizar essa abordagem é a perda de detalhamento, pois não é considerado o efeito do excesso de reagentes, que garante o andamento da reação no sentido da formação de produtos.

A próxima etapa consistiu na representação do sistema no ambiente de simulação do programa. Os equipamentos utilizados na simulação foram os seguintes: misturador, reator de conversão, torres de separação e bomba.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 encontra-se o fluxograma do processo de produção de biodiesel obtido no Aspen HYSYS® 2006.

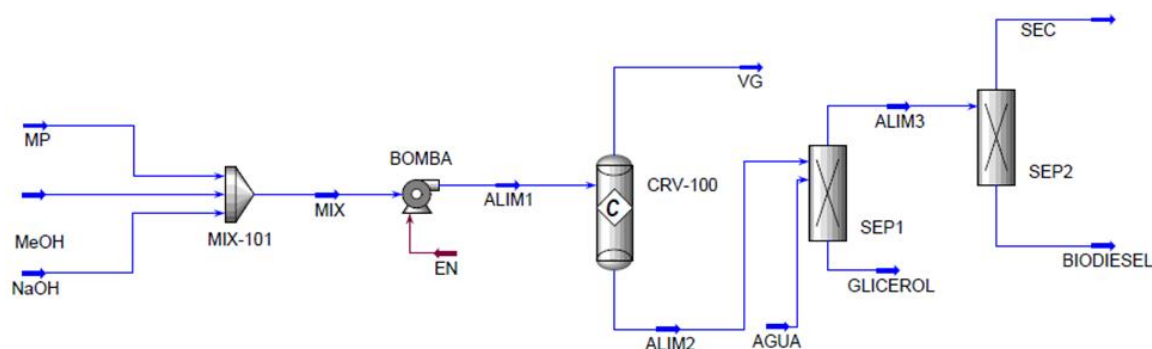


Figura 1. Fluxograma do processo de produção do biodiesel simulado no Aspen HYSYS® 2006.

Observa-se na Figura 1 que as correntes de matéria-prima (MP), sebo bovino ou óleo de soja, metanol (MeOH) e hidróxido de sódio (NaOH) foram conduzidas ao misturador (MIX-101), formando uma só

corrente (MIX). Para aumentar a pressão desta última linha e atender às necessidades da planta, uma bomba foi adicionada, resultando na corrente ALIM1, que corresponde à alimentação do reator de conversão. A corrente VG representa o escape para alívio de pressão no topo do reator. Na base do reator, ALIM2 representa a corrente de produtos da reação, impurezas, reagentes em excesso e/ou catalisador, a qual em seguida foi submetida a um processo de lavagem com água e separação na torre SEP1. Esta última removeu o catalisador, parte do glicerol e conduziu o restante da mistura a outro separador, que por sua vez é responsável por separar 90% do biodiesel presente na ALIM3.

Na Tabela 2 estão dispostas as métricas de sustentabilidade calculadas para os processos de produção do biodiesel a partir do sebo bovino e do óleo de soja.

Tabela 2. Métricas de sustentabilidade para os processos de produção do biodiesel.

Biodiesel	Fator E (-)	E_m (-)	LCEE (-)	FER (-)
Sebo bovino	0,3997	0,7144	0,5999	1,5414
Soja	0,4028	0,7128	0,5144	1,0849

Analisando-se a Tabela 2, observa-se que os valores de E_m foram muito próximos para os dois processos. Para decidir a respeito da sustentabilidade relativa desses processos em termos de eficiência material, mais detalhes do processo precisam ser levados em consideração, assim como toda a cadeia de suprimento do biocombustível.

Quanto ao LCEE, observa-se na Tabela 2 que o biodiesel produzido a partir de sebo bovino é o mais eficiente dentre os dois processos analisados. No entanto, o ideal seria um LCEE maior do que a unidade, pois isso implicaria em um processo infinitamente renovável, visto que o biocombustível poderia ser utilizado para substituir a energia necessária para produzi-lo.

Assim como o LCEE, um valor de FER maior do que a unidade implica na possibilidade de substituir a energia utilizada na produção, porém neste caso a energia fóssil. Quanto maior o valor de FER, menos energia fóssil é utilizada, portanto, observa-se na Tabela 2, que o processo de produção do biodiesel obtido a partir do sebo bovino utiliza menos energia fóssil para produzir uma mesma quantidade energética do biocombustível. Adicionalmente, FER pode ser infinito, caso só energia renovável seja utilizada para a produção. Neste caso, diz-se que o processo é completamente renovável, que pode ser alcançado para o caso em questão ao se substituir o metanol por um álcool de origem não fóssil como, por exemplo, o etanol.

Conclusões

O presente trabalho ofereceu uma avaliação preliminar com relação às métricas de sustentabilidade aplicadas ao processo de produção de biodiesel. Diante dos resultados expostos, o processo de produção do biodiesel a partir do sebo bovino é mais sustentável frente ao processo de produção do biodiesel de óleo de soja. No entanto, embora o processo de conversão seja uma das etapas mais importantes da cadeia de produção do biodiesel, é importante avaliar as outras etapas, que podem contribuir de forma significativa nos valores das métricas.

Agradecimentos

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e à Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, em particular ao PRH 28, do Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, E. F.; IGARASHI-MAFRA, L.; MAFRA, M. R.; CORAZZA, M. L. (Liquid + liquid) equilibrium for the system {ethyl stearate(1) + ethanol(2) + glycerol(3)}. **J. Chem. Thermodynamics**, v. 47, p. 213-218. 2012.

CUNHA, M. E. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.

KNOTHE, G. KRAHL, J.; GERPEN, J. V.; RAMOS, L. P. **Manual de biodiesel**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2006.

MARINAS, A.; BRUIJNINCX, P.; FTOUNI, J.; URBANO, F. J.; PINEL, C. Sustainability metrics for a fossil- and renewable-based route for 1,2-propanediol production: a comparison. **Catalysis Today**, v. 239, p. 31-37. 2014.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; SIKDAR, S. K.; COSTA, C. A. V. Sustainability considerations of biodiesel based on supply chain analysis. **Clean technologies and environmental policy**, v. 13, p. 655-671. 2011.

MESQUITA, F. M. R.; FEITOSA, F. X.; SOMBRA, N. E.; SANTIAGO-AGUIAR, R. S.; SANT'ANA, H. B. Liquid-liquid equilibrium for ternary mixtures of biodiesel (soybean or sunflower) + glycerol + ethanol at different temperatures. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 56, p. 4061-4067, 2011.

PRADHAN, A.; SHRESTHA, D. S.; GERPEN, J. V.; DUFFIELD, J. The energy balance of soybean oil biodiesel production: a review of past studies. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 51, p. 185-194. 2008.

SHELDON, R. A. The E factor: 15 years on. **Green Chemistry**, v. 9, n. 12. 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3. 2009.

VENDRAMIN, E. J. **Modelagem, simulação e análise do processo de produção do biodiesel brasileiro**. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em ciências) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. **Bioresource Technology**, v. 89, p. 1-16. 2003.