

Análise energética na produção do biodiesel de mamona: estudo comparativo entre as rotas catalíticas homogênea e heterogênea

Tiago Barreto Rocha*; José Adolfo de Almeida Neto.

*Universidade Estadual de Santa Cruz, Grupo Bioenergia e Meio Ambiente, Rodovia Ilhéus-Itabuna, Km 16, Ilhéus - BA
45662-000.* tiagoaeon@gmail.com*

Sumário

Neste estudo realizou-se uma análise energética da produção do biodiesel de mamona com base na metodologia da ACV, comparando a rota catalítica tradicional homogênea (KOH e NaOH) com a rota em desenvolvimento heterogênea (Na/MgO e Li/MgO). Os resultados mostraram que no estágio atual de desenvolvimento os catalisadores heterogêneos ainda não são vantajosos do ponto de vista energético quando comparados aos catalisadores homogêneos. No entanto, observou-se ainda que quando se considera o ciclo de vida completo do biodiesel de mamona, a energia consumida na produção dos catalisadores representa somente uma pequena parcela da energia total consumida na produção do biodiesel. As pesquisas futuras com catalisadores heterogêneos devem, portanto, atentar para o consumo de energia na produção do catalisador e no seu potencial de recuperação e reutilização durante o processo de transesterificação.

Introdução

A produção e uso de combustíveis, sejam eles derivados fósseis ou da biomassa, podem ser vistos como sistemas energéticos, sendo que, devido à escala de uso que assumiram na sociedade atual, são responsáveis por significativos impactos ambientais. O estudo das inter-relações entre a produção de energia e os efeitos ambientais ao longo de todas as atividades do ciclo de vida de um determinado produto ou serviço é um assunto atual da pesquisa sendo conhecido na literatura especializada por análise do ciclo de vida (ACV). A ACV é uma ferramenta importante na escolha de alternativas tecnológicas, na gestão ambiental de processos produtivos e na prevenção da degradação ambiental (CARVALHO et al., 1999).

De acordo com Consoli et al. (1993), a ACV pode ser definida como “um processo para avaliar a carga ambiental associada a um sistema ou atividade, através da identificação e descrição quantitativa da energia e materiais usados e resíduos lançados ao meio ambiente, além da avaliação dos impactos com o uso da energia e materiais e das emissões para o meio ambiente. A avaliação inclui o ciclo de vida completo do produto ou atividade, considerando a extração e processamento de matérias-primas; fabricação; distribuição; uso; re-uso; reciclagem e descarte final; e todos os transportes envolvidos”.

O uso da ACV tem sido ainda limitado, especialmente pela complexidade, por consumir muito tempo, assim como pelas incertezas e variabilidade associadas aos dados de emissões dos diferentes processos associados à produção de um produto ou fornecimento de serviço.

Por outro lado, estudos conduzidos com diferentes produtos utilizando a ACV demonstraram que existe uma correlação positiva entre o consumo de energia, especialmente a não-renovável, e os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço. Os dados de consumo de energia encontram-se, via de regra, mais disponíveis e apresentam maior consistência comparado aos dados de emissões. Isto permite, apoiado no balanço energético, identificar numa primeira aproximação o menor ou maior potencial de impacto associado a um produto ou processo, bem como identificar fases ou processos ao longo do ciclo de vida com maior potencial de impacto e, ou que necessitem de um estudo mais detalhado.

A utilização de combustíveis derivados da biomassa, como o biodiesel, vem sendo apresentada com uma alternativa energética ambientalmente correta ou, no mínimo, menos impactante que seu concorrente de origem fóssil, o *diesel*. Estudos conduzidos com base na ACV, porém, apontam que, dependendo da origem da biomassa e dos processos produtivos associados ao ciclo de vida do biodiesel, o potencial de impacto associado ao biocombustível pode ser maior ou menor e, inclusive, em alguns casos, estar em desvantagem com relação ao seu concorrente fóssil. De acordo com Reinhardt e Vogt (1998), as barreiras e aspectos desfavoráveis associados a produção de biocombustíveis estão ligados geralmente a:

- concorrência no uso do solo e água com culturas alimentares e para outros fins técnicos;
- possíveis impactos ambientais resultantes de uma produção agrícola intensiva de culturas energéticas

(erosão, contaminação do solo e água com resíduos de adubos, herbicidas e pesticidas);

- altos custos de produção, quando comparados aos custos atuais vigentes para produção de combustíveis fósseis (*diesel*, óleo combustível).

Atualmente, o método mais usado comercialmente para a produção de biodiesel é a transesterificação de óleos e gorduras vegetais ou animais, utilizando um álcool de cadeia curta, geralmente, o metanol, na presença de um catalisador alcalino. Comercialmente, a rota prioritária de produção do biodiesel tem sido a catálise alcalina homogênea, sendo os catalisadores mais utilizados o hidróxido de sódio (NaOH) e o de potássio (KOH). Seu amplo uso se deve, principalmente, à sua eficiência na transesterificação alcalina e ao seu baixo custo. Por outro lado, a catálise homogênea apresenta desvantagens na fase de purificação dos produtos (biodiesel e glicerina) da reação, uma vez que a separação do catalisador ao final da reação constitui-se numa operação complexa e ambientalmente impactante. Para os catalisadores homogêneos de uso comercial, vários estudos ambientais já foram conduzidos, envolvendo os diferentes aspectos energéticos e ambientais da sua produção e uso (DUTRA; ALMEIDA NETO, 2003). Os catalisadores heterogêneos, por outro lado, encontram-se em fase de desenvolvimento e necessitam, portanto, ainda ser estudados, tanto sob a ótica da sua eficiência, quanto dos seus aspectos ambientais e econômicos.

O objetivo principal deste estudo foi, com base nos princípios da ACV, avaliar comparativamente os catalisadores homogêneos (NaOH e KOH) e heterogêneos (NaMgO e LiMgO) utilizados na transesterificação do biodiesel de mamona, tendo como indicador a categoria ambiental consumo total de energia.

Materiais e Métodos

A avaliação foi conduzida utilizando metodologia clássica de análise do ciclo de vida (ACV)¹, incluindo as seguintes etapas: definição do escopo do estudo, definição de um sistema de controle, modelagem e mapeamento dos fluxos de produção e dos produtos, definição da “unidade funcional”, cálculo e agregação em categorias ambientais (Figura 1) (SETAC, 1991).

As coletas e atualização dos dados do inventário das cadeias envolvidas foram realizadas através de contato telefônico ou *e-mail* com os fabricantes dos materiais, reagentes ou produtos envolvidos. Ou, ainda, através de contato pessoal com pesquisadores, no caso dos catalisadores heterogêneos. Nos casos onde não foi possível a obtenção de dados primários, recorreu-se à literatura especializada ou ao banco de dados público, PROBAS, do Ministério de Meio Ambiente Alemão (UBA, 2006).

No armazenamento, na manipulação e nos cálculos foi utilizada a ferramenta computacional GEMIS 4.3

(Global Emission Model for Integrated Systems) (GEMIS, 2006).

O *software* GEMIS 4.3 foi, também, utilizado na criação e, ou adaptação de modelos de produtos, processos e de cenários específicos para os sistemas analisados.

A análise e a interpretação dos resultados foram conduzidas comparativamente tendo como base o inventário da cadeia do biodiesel, especialmente, o processo de transesterificação na etapa de produção do biodiesel.

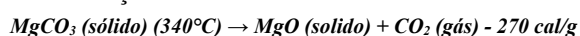


Figura 1 – Fluxograma simplificado das etapas da ACV.

Resultados e Discussões

O óxido de magnésio, principal componente dos catalisadores heterogêneos, é usado em várias reações orgânicas devido às suas propriedades ácido-base e à sua elevada área superficial potencial, sendo, geralmente, obtido a partir da água do mar ou produzido pela redução direta de um minério com um agente redutor adequado. O processo de produção foi analisado a partir da extração mineral da magnesita que tem representação química expressa através da fórmula $MgCO_3$, tendo como composição 47,8% de MgO e 52,2% de CO_2 .

Depois de extraída, a magnesita passa por um processo de calcinação como descrito na fórmula abaixo:



O MgO (sólido) passa, então, por um processo de hidratação seguido de calcinação para aumentar a sua área específica, segundo Bancart et al. (2001), esse aumento é um fator determinante para o uso dos catalisadores a base de MgO. Os coeficientes técnicos e dados energéticos obtidos para o processo de calcinação do MgO referem-se ao industrial. No cálculo do gasto energético para hidratação do óxido, porém, foram tomados como base processos em escala laboratorial.

A **figura 2**, abaixo, destaca a cadeia do óxido de magnésio, incluindo os fluxos de materiais e de energia envolvidos nos três processos principais (extração do minério, produção e hidratação do óxido) (GEMIS, 2006).

¹ Do inglês Life Cycle Analysis

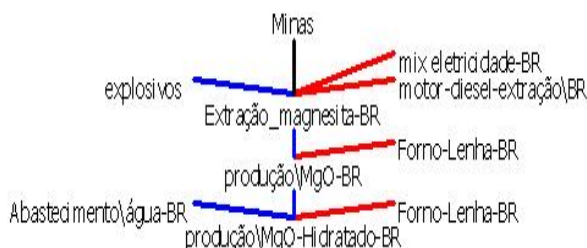


Figura 2 – Cadeia de Produção do Óxido de Magnésio.

Em seguida o MgO hidratado é impregnado ao hidróxido sódico e ao hidróxido de lítio na proporção de 10g de óxido de magnésio para 0,0496g de hidróxido de sódio e 0,06g de hidróxido de lítio, respectivamente. Nas figuras 3 e 4, abaixo, estão representadas as cadeias de produção dos catalisadores heterogêneos Na/MgO e Li/MgO (GEMIS, 2006).

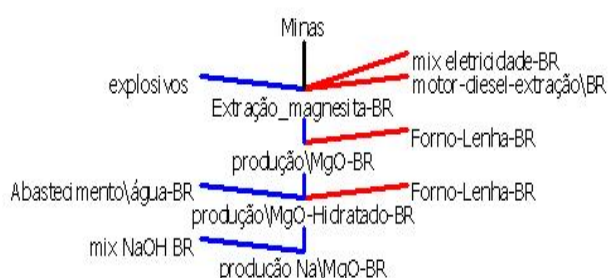


Figura 3 – Cadeia de Produção do catalisador Heterogêneo Na/MgO.

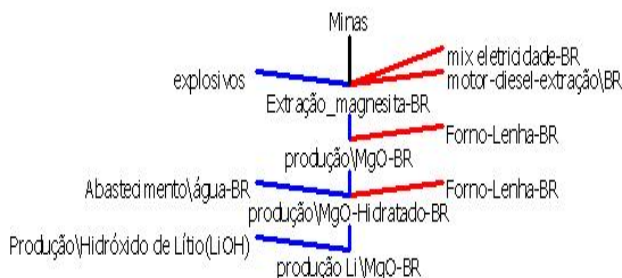


Figura 4 – Cadeia de Produção do catalisador Heterogêneo Li/MgO.

A produção de hidróxido de lítio (LiOH) entra como um processo auxiliar na cadeia de produção do catalisador heterogêneo LiMgO (Figura 4). Na produção do hidróxido de lítio (Figura 5) necessita-se de um processo auxiliar denominado “extração da espodumena”. A espodumena é uma rocha que contém minerais de lítio, sua composição química é expressa através da fórmula $LiAlSi_2O_6$.

Uma das limitações encontradas na fase de inventário das cadeias foi a obtenção de coeficientes técnicos e de dados sobre o ciclo de vida do hidróxido de lítio. Neste caso, tomaram-se como base, os dados de consumo de energia nos processos para a extração do hidróxido de sódio e dados da literatura. Adicionalmente foram realizados estudos de sensibilidade com variações de 50% nos fatores de consumo de energia adotados. Tomou-se como base os valores obtidos em um estudo do ciclo de vida de baterias e pilhas de lítio realizados pela empresa Suíça **Esu-Service**, onde o consumo total de energia na produção do hidróxido de lítio foi estimado em 700 MJ Kg^{-1} de substância.



Figura 5 – Cadeia de Produção Hidróxido de Lítio.

As figuras 6 e 7, abaixo, representam as cadeias de produção dos catalisadores homogêneos NaOH e KOH, respectivamente (GEMIS, 2006). O catalisador NaOH pode ser obtido por dois processos, membrana ou amalgam, foi feito então um mix desses dois processos na proporção de 50%.

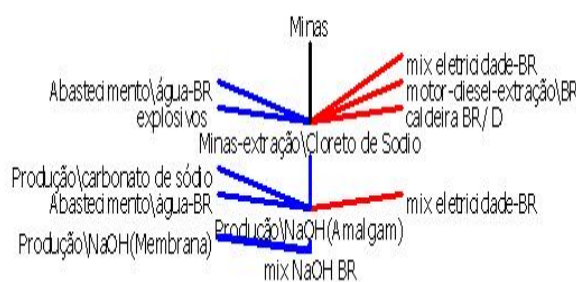


Figura 6 – Cadeia de produção do catalisador homogêneo NaOH.



Figura 7 – Cadeia de produção do catalisador homogêneo KOH.

A comparação dos processos de produção dos catalisadores heterogêneos e homogêneos, sem considerar uma possível reutilização dos catalisadores heterogêneos, revela que os catalisadores LiMgO e o NaMgO apresentaram um consumo de energia superior aos catalisadores NaOH e KOH, conforme apresentado na figura 8.

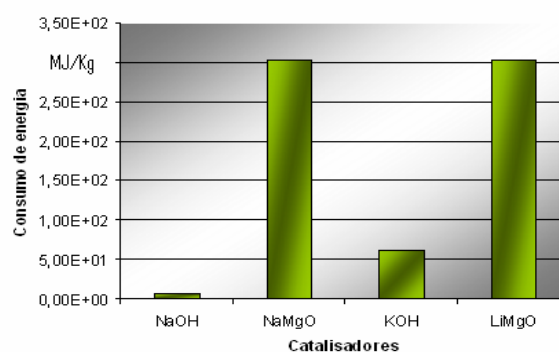


Figura 8 – Gráfico do consumo de energia total em MJ/Kg de catalisador.

O maior consumo de energia dos catalisadores heterogêneos está, em grande parte, vinculado ao elevado consumo energético na preparação do óxido de magnésio, uma vez que este pode chegar a 90 % m/m da constituição do catalisador e tem uma participação de 70% no consumo de energia na produção dos catalisadores heterogêneos.

Os catalisadores heterogêneos, por outro lado, apresentam a vantagem de poderem ser separados após a sua utilização e reutilizados. Em uma análise comparativa com os catalisadores homogêneos, portanto, é importante considerar o número de vezes em que esses catalisadores heterogêneos podem ser reutilizados na reação e, então, ponderar os gastos energéticos com base no número de reutilizações.

Os resultados experimentais parciais na reutilização dos catalisadores heterogêneos apontam um potencial de reutilização de 5 vezes para o NaMgO e o LiMgO.

Para uma melhor compreensão dos resultados foram propostos dez cenários alternativos de reutilizações, comparando os quatro diferentes catalisadores. Na **figura 9**, encontra-se um gráfico mostrando a evolução do consumo total de energia utilizada na produção do biodiesel para as diferentes rotas catalíticas em função do número de vezes que os catalisadores foram utilizados.

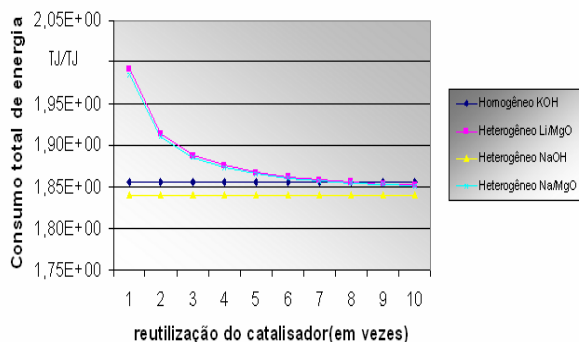


Figura 9 – Gráfico da evolução do consumo de energia por TJ de biodiesel.

Os resultados da **figura 9** indicam que, por um lado, a quantidade de catalisador utilizada na produção do biodiesel varia de 0,5% a 2%, contribuindo com menos de 1% nos valores totais obtidos para a categoria avaliada. Por outro lado, a produção do biodiesel utilizando a catálise heterogênea apresentou um maior consumo total de energia quando comparada com a catálise homogênea. Porém, quando se considerou a reutilização dos catalisadores heterogêneos, o consumo total de energia tendeu a se igualar entre as duas rotas catalíticas a partir da 8ª (KOH) e 10ª (NaOH) reutilização do catalisador.

Conclusão

Os catalisadores heterogêneos consomem mais energia na sua produção do que os catalisadores homogêneos, portanto, uma vantagem relativa destes catalisadores

está vinculada à possibilidade de sua recuperação e reutilização. Considerando o estágio atual das pesquisas, os catalisadores homogêneos ainda são, portanto, mais vantajosos do ponto de vista energético. Deve-se, portanto, investir em catalisadores menos intensivos em energia e com maior potencial de reutilização. Porém, considerando o ciclo de vida do biodiesel, observa-se que o processo de produção dos catalisadores representa somente uma pequena parcela no consumo de energia total para a produção do biodiesel e que se deve, portanto, considerar outras fases e processos do ciclo de vida do biodiesel na sua otimização energética e ambiental.

Referências

- CARVALHO, C.E.; REIS, L.B.; UDAETA, M.E.M. A Avaliação dos custos completos na avaliação dentro do Planejamento Energético. In: **Revista Brasileira de Energia**. v VI, n1, 1999.
- CONSOLI, F. et al. **Guidelines for Life – cycle assessment: a code of practice**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Setac Workshop, Sesimbra, Portugal, 31 March – 3 April, 1993.
- DUTRA, A.C.; ALMEIDA NETO, J.A.: Uso da ACV na avaliação preliminar das categorias ambientais efeito estufa e chuva ácida para o diesel e o biodiesel de OGR. In: **Anais do 1º Congresso Internacional de Biodiesel**, 14 –16 de abril de 2003, Ribeirão Preto, SP, CD-Rom.
- SETAC1991. **A Technical Framework for Life-Cycle Assessment**. Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education, Inc, Washington, DC.
- GEMIS. **Documentação on-line**. Öko-Institut, disponível em <<http://www.gemis.de>>. Acesso em 20 nov., 2006.
- REINHARDT, G.; R. VOGT: **Ganzheitliche Bilanzierung von Biokraftstoffen im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen**. Jahrbuch der VDI-Energietechnik. 1998.
- UBA. **Banco de Dados on-line**. Umweltbundesamt, disponível em <<http://www.probas.umweltbundesamt.de/>> Acesso em 11 out., 2006.