



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

DESEMPENHO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO ÓLEO DE PINHÃO-MANSO, PELA ABORDAGEM DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Leticia De Santi **Barrantes**^{1a}; Marília Ieda da Silveira **Folegatti-Matsuura**^{1b}; Gil Anderi da **Silva**^{2c};
Luix Alexandre **Kulay**^{2c}

¹ Embrapa Meio Ambiente; ² Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Nº 13419

RESUMO – A sociedade vem buscando cada vez mais fontes renováveis de energia para substituição dos combustíveis fósseis, devido ao seu inevitável esgotamento futuro e à sua contribuição ao fenômeno do aquecimento global. Em função disso, o incentivo para a produção de combustíveis de base vegetal cresceu no Brasil, merecendo atenção, dentre as culturas oleaginosas, o pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), conhecido por sua elevada produção de óleo, alta rusticidade e adaptabilidade a condições de solo e clima nos quais a produção de alimentos é impraticável. Visando o desenvolvimento de tal cultura para a produção de biodiesel, os seus impactos ambientais potenciais devem ser analisados. No presente trabalho, diferentes eficiências de produção de grãos e óleo de pinhão-manso e diferentes opções de aproveitamento de resíduos foram estudados, por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), buscando-se identificar as alternativas mais sustentáveis para esta cadeia produtiva. No que se refere à Demanda Cumulativa de Energia e às Mudanças Climáticas, a produtividade agrícola e a eficiência da extração de óleo foram determinantes para o bom desempenho do sistema. O cenário de aproveitamento de resíduos mais favorável foi o que empregou resíduos agrícolas e industriais em substituição aos fertilizantes.

Palavras-chaves: ACV, pinhão-manso, balanço energético, mudanças climáticas.

^a Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia Ambiental, leticia.desantib@gmail.com, ^b Orientador, ^c Colaborador



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

ABSTRACT- *The seek for renewable energy sources to replace fossil fuels, due to its inevitable future depletion and its contribution to the global warming phenomenon, is a worldwide pursuit. As a result, the incentive for the production of plant-based fuels expanded in Brazil, deserving attention, among oilseed crops, the jatropha (*Jatropha curcas* L.), known for its high oil yield, high rusticity and adaptability to conditions of soil and climate in which food production is impracticable. Aiming at the development of the jatropha crop for the production of biodiesel, its potential environmental impacts should be evaluated. In this study, efficiency of jatropha grain production and of oil production, and options for reuse of the residues were evaluated, using the methodology of Life Cycle Assessment (LCA), seeking to identify more sustainable alternatives to this production chain. Concerning the impact categories of Cumulative Energy Demand and Climate Change, the crop yield and the efficiency of oil extraction were crucial to the performance of the whole system. Considering the reuse of residues, the scenario where the agricultural and industrial residues were used to replace fertilizers shown to be more favorable.*

Key-words: LCA, *Jatropha curcas* L., energy balance, climate change.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade vem buscando alternativas renováveis de energia para substituição dos combustíveis fósseis, cujas reservas estão se esgotando além de se mostrarem grandes contribuintes para o fenômeno do aquecimento global.

Diante desse cenário, o interesse por biocombustíveis vem crescendo de forma expressiva no Brasil. As razões desse interesse são muitas e variam de um país para o outro, sendo as principais: a diminuição da dependência externa de petróleo, a minimização dos efeitos das emissões veiculares na poluição local e o controle da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Particularmente o biodiesel, desenvolvido no Brasil, despertou o interesse da Europa no início dos anos 90, que se tornou seu maior produtor e consumidor mundial. O governo brasileiro passou a incentivar sua produção, instituindo em 2004 o Programa Nacional de Produção de Biodiesel, que apoiou a produção deste tipo de combustível a partir de diferentes fontes oleaginosas, promovendo a inclusão social dos produtores, a garantia de preços competitivos, a qualidade e suprimento da demanda.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013 13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Dentre as culturas energéticas, o pinhão-manso (*Jatropha curcas L.*) foi fortemente estimulado por apresentar potencial de alta produtividade e por ser supostamente adaptável a solos de baixa fertilidade e climas áridos, onde culturas alimentares não seriam viáveis. Entretanto, a cultura do pinhão-manso ainda se encontra em fase experimental, demandando desenvolvimento tecnológico que suporte sua viabilidade econômica e ambiental.

Neste contexto, um parâmetro que deve ser observado é a Demanda Cumulativa de Energia (Cumulative Energy Demand) – DCE. A DCE quantifica o consumo de energia primária de um sistema. É calculada pela soma do conteúdo energético de todos os combustíveis fósseis, energia nuclear e renovável (incluindo a de biomassa). É uma medida da eficiência energética global de um sistema, independentemente da fonte de energia usada (FRISCHKNECHT et al. 2003). Já a Demanda Cumulativa de Energia, não renovável (DCE, não renovável), considera o consumo de energia primária de fontes não renováveis, como a fóssil e a nuclear.

O desempenho energético de um combustível também pode ser medido pelo parâmetro Depleção de Recursos Fósseis, em métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida, como o ReCiPe (GOEDKOOP et al. 2009). Este mesmo método permite ainda a avaliação de várias outras categorias de impacto ambiental, como a de Mudanças Climáticas, considerada neste estudo.

Todos estes parâmetros e categorias de impacto cabem na abordagem da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A ACV pode ser definida como a “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ABNT 2009). Trata-se de uma ferramenta de gestão, que permite avaliar o desempenho ambiental de produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Também se aplica à identificação dos estágios do ciclo de vida que mais contribuem para a geração de impactos; à avaliação da implementação de melhorias; à integração de aspectos ambientais ao projeto e desenvolvimento de produtos; e ao subsídio a declarações ambientais. É uma metodologia com forte base científica e reconhecida internacionalmente (ABNT 2009).

Este estudo avaliou o desempenho ambiental, incluindo o desempenho energético, do óleo de pinhão-manso destinado à síntese de biodiesel, considerando diferentes eficiências de produção e diferentes alternativas para o aproveitamento dos resíduos sólidos gerados nas fases agrícola e industrial.



2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho se baseou nos requisitos técnicos da norma ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009).

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho ambiental, com foco no desempenho energético, do óleo de pinhão-manso obtido por diferentes processos de produção, considerando-se diferentes cenários para o aproveitamento dos resíduos sólidos gerados nas fases agrícola e industrial.

O seguinte escopo foi estabelecido:

- a) Sistema de produto: sistemas de produção de óleo de pinhão-manso;
- b) Função: produzir óleo para a síntese de biodiesel;
- c) Unidade funcional: 1 tonelada de óleo;
- d) Fronteiras do sistema de produto: para os cenários que adotam a extração mecânica de óleo (ver Tabela 1), foram incluídos os processos de produção de grãos e óleo de pinhão-manso, gás liquefeito de petróleo, elemento filtrante, diesel, energia elétrica, além dos processos de transporte e da infraestrutura; para os cenários que assumem a extração mista (ver Tabela 1), foram incluídos os processos de produção de grãos e óleo de pinhão-manso, hexano, vapor, diesel, energia elétrica e também os processos de tratamento de água e transporte e a infraestrutura.
- e) Alocação: na fase agrícola, além da produção de grãos, são considerados coprodutos, em alguns cenários, os resíduos do processo agrícola (cascas); na fase industrial, o óleo é o produto e são considerados coprodutos, também em alguns cenários, o farelo ou a torta;
- f) Método de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV): Demanda Cumulativa de Energia, V1.08; e ReCiPe Midpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H, com as categorias de impacto Depleção de Recursos Fósseis e Mudanças Climáticas;
- g) Requisitos de qualidade de dados: a cobertura temporal abrangeu o período entre 2006 e 2010; a cobertura espacial incluiu as principais regiões produtoras da cultura e do óleo no Brasil; e a cobertura tecnológica, na fase agrícola, considerou o processo manual de produção de grãos, utilizando o preparo mínimo do solo e o trabalho manual no manejo, colheita e operações pós-colheita, e o processo mecanizado de produção de grãos, com preparo convencional do solo e mecanização nas operações de aração, calagem, adubação



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

química, tratamento fitossanitário, colheita e pós-colheita. Na fase industrial considerou o processo mecânico de extração, de pequena escala e o processo misto de extração, com uso de hexano como solvente.

As produtividades agrícolas assumidas foram de 1,7 toneladas de grãos/ha/ano, rendimento realista; e de 4,0 toneladas de grãos/ha/ano, rendimento otimista, projetado por especialistas para um futuro próximo, em função de avanços tecnológicos esperados (DIAS et al., 2007). Em relação à extração de óleo, foram consideradas as tecnologias mecânica e mista, cujo rendimento corresponde a 24,3% e 30,9%, respectivamente (SARTORI et al, 2009).

O processo mecânico é adequado para a produção de óleo em pequena escala, tendo como coproduto a torta (contendo cerca de 8% de óleo residual) (SCOTT TECH, 2010). O processo misto é adequado para a produção em média escala, com a obtenção de óleo e farelo (<2% de óleo residual). Compreende a extração mecânica seguida por extração química com hexano (SARTORI et al., 2009).

Para a disposição dos resíduos agrícolas (cascas) e industriais (torta e farelo), foram avaliadas as seguintes alternativas: a) descarte de resíduos sólidos sem tratamento; b) uso das cascas em substituição parcial aos fertilizantes sintéticos; c) uso das cascas, torta ou farelo em substituição parcial ou total aos fertilizantes sintéticos. A Tabela 1 apresenta os cenários correspondentes às diferentes combinações destas variáveis.

Tabela 1. Cenários avaliados para ACV do óleo de pinhão-manso

Cenários	Produtividade (t grãos/ha/ano)	Extração de óleo; Rendimento (%)	Destinação dos resíduos
1	1,7	Mecânica; 24,3	Cascas para fertilização
2	1,7	Mecânica; 24,3	Cascas e torta para fertilização
3	1,7	Mecânica; 24,3	Resíduos descartados no ambiente
4	4,0	Mecânica; 24,3	Cascas para fertilização
5	4,0	Mecânica; 24,3	Cascas e torta para fertilização
6	4,0	Mecânica; 24,3	Resíduos descartados no ambiente
7	1,7	Mista; 30,9	Cascas para fertilização
8	1,7	Mista; 30,9	Cascas e farelo para fertilização
9	1,7	Mista; 30,9	Resíduos descartados no ambiente
10	4,0	Mista; 30,9	Cascas para fertilização
11	4,0	Mista; 30,9	Cascas e farelo para fertilização
12	4,0	Mista; 30,9	Resíduos dispostos no ambiente

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Demanda Cumulativa de Energia, apresentada na Figura 1, representa o total de energia consumido para a produção de 1 t de óleo de pinhão-manso, cujo poder calorífico corresponde a 39,63 GJ.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013 13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Observa-se claramente a influência da eficiência de extração de óleo no desempenho energético dos diferentes cenários. Quanto ao consumo de recursos fósseis, todos os cenários que assumiram a extração de óleo pelo processo misto, com 30,9% de rendimento, consumiram proporcionalmente menos esses recursos ao longo do seu ciclo de vida que os cenários equivalentes que consideraram o processo mecânico de extração, cujo rendimento é de 24,3%. Entretanto, o processo de extração mista requer a geração de vapor por caldeira, o que resulta no maior consumo de biomassa energética.

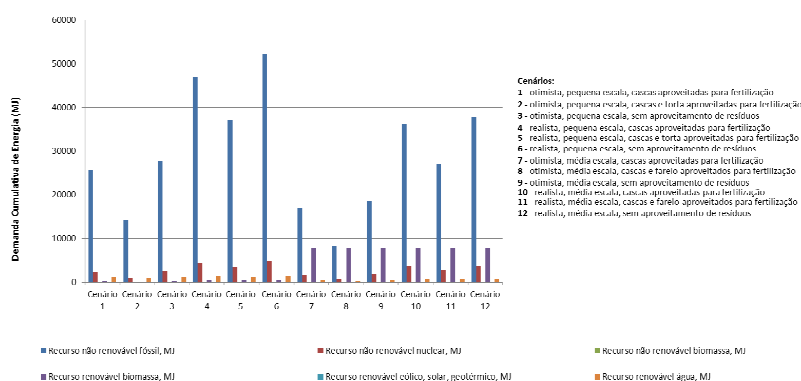


Figura 1. Demanda Cumulativa de Energia para a produção de 1 t de óleo de pinhão-mansão.

A produtividade agrícola, maior nos cenários otimistas (com produção de 4t de grãos/ha/ano), também influencia positivamente o desempenho energético. Comparando-se as diferentes alternativas de aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva, a melhor solução, em termos energéticos, corresponde à aplicação dos resíduos agrícolas e industriais no campo, em substituição parcial ou total aos fertilizantes sintéticos.

A Figura 2 apresenta a Depleção de Recursos Fósseis (calculada segundo o método de ReCiPe). Por esta análise, a alternativa de aproveitamento de resíduos se mostra determinante para o desempenho energético dos cenários estudados. O uso de resíduos, particularmente os da fase industrial (torta ou farelo), substituindo os fertilizantes sintéticos, contribuiu favoravelmente para a eficiência energética dos sistemas. O processo de extração de óleo também teve efeito nesta eficiência.

Embora de forma menos acentuada, as eficiências produtivas, nas fases agrícola e industrial, mas principalmente o destino dos resíduos da cadeia produtiva, determinam o desempenho ambiental dos cenários, quando é observado o impacto de Mudanças Climáticas. Os menores impactos negativos ocorrem quando os resíduos são usados como fertilizantes, enquanto que os maiores impactos negativos ocorrem quando os resíduos são descartados no ambiente sem adequado tratamento.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013 13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

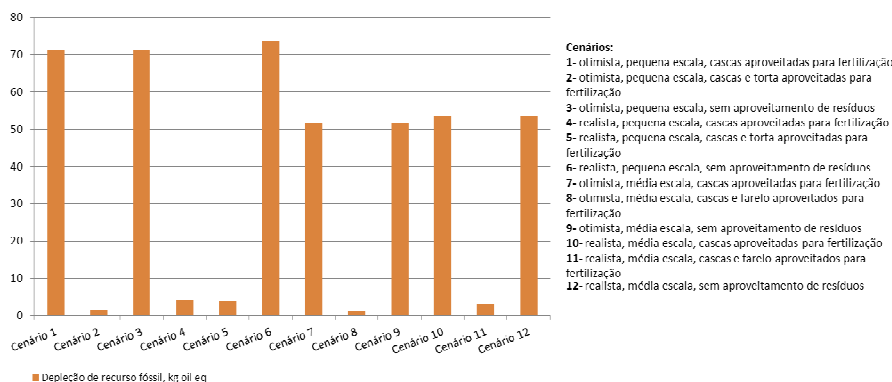


Figura 2. Depleção de recursos fósseis (calculada pelo método de ReCiPe).

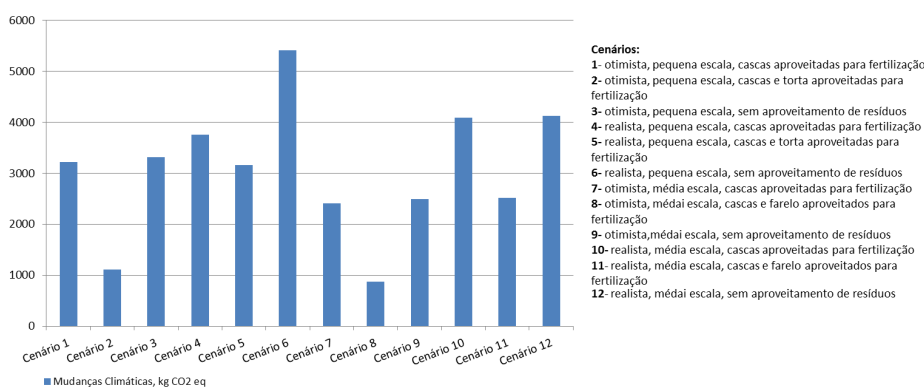


Figura 3. Mudanças Climáticas.

Realizando análises semelhantes, Almeida (2009), Prueksakorn & Gheewala (2008) e Reinhardt et al. (2007) também encontraram resultados positivos no desempenho ambiental e energético do sistema quando atribuída qualquer nova utilidade aos resíduos do processo de produção do biocombustível de pinhão-mansão. Entretanto, comparando a destinação para fertilização com a destinação para a geração de energia, todos os autores encontraram melhores resultados na geração de energia, valendo a pena a continuação do presente estudo neste sentido.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo indicou que as baixas produtividades agrícolas, que correspondem à situação atual da cultura do pinhão-mansão no Brasil, assim como processos de extração de óleo pouco eficientes, como é o caso do processo mecânico adotado na pequena escala de produção, resultam em um desempenho energético pouco favorável para o óleo de pinhão-mansão, matéria-prima para a produção de biodiesel.

Considerando os cenários de aproveitamento de resíduos avaliados, a aplicação de cascas, torta ou farelo de pinhão-mansão na própria cultura, em substituição parcial ou total dos fertilizantes



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

sintéticos, resultou em um melhor desempenho energético e ambiental (considerando o impacto de Mudanças Climáticas), sendo este, portanto, o destino mais adequado dentre os analisados no presente trabalho. Valendo ressaltar a importância dos ganhos ambientais relativos ao aproveitamento dos resíduos para geração de energia, como já relatados por outros autores.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem CNPq, Finep, Projeto BRJATROPHA e Projeto JATROPT (PQ7, Comissão Europeia).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J. T. G. D. **Generic life cycle assessment of the Jatropha biodiesel system**. M.S. thesis. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal; Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgique. 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR ISO 14044**: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações, Rio de Janeiro, 2009.

Dias, L. A. S.; Leme, L. P.; Laviola, B. G.; Pallini Filho, A.; Pereira, O. L.; Carvalho, M.; Manfio, C. E.; Santos, A. S.; Sousa, L. C. A.; Oliveira, T. S.; Dias, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa: UFV, 2007.

Frischknecht, R. et al. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Final Report Ecoinvent 2000. Duebendorf : Swiss Centre for LCI, 2003.

Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; Schryver, A. D.; Struijs, J.; Van Zelm, R. **ReCiPe 2008**: a life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation. Den Haag: Ministerie van VROM, 2009.

Prueksakorn, K.; Gheewala, S. H. Full chain energy analysis of biodiesel from *Jatropha curcas* L. in Thailand. **Environ. Sci. & Technol.** n. 42, p. 3388-3393, 2008.

Reinhardt, G.; Gärtner, S.; Rettenmaier, N.; Münch, J.; Falkenstein, E. **Screening of Life Cycle Assessment of Jatropha biodiesel**. Heidelberg: Ifeu, 2007.

Sartori, M. A.; Perez, R.; Silva Júnior, A. G.; Machado, S. R. S.; Santos, M. M. S.; Miranda, C. A. C. Análise de arranjos para extração de óleos vegetais e suprimento de usina de biodiesel. **RESR** 47, p 419-434, 2009.

Scott Tech Equipamentos. Disponível em <<http://www.scotttech.com.br/equipamentos/pe130.html>>. Acesso 01/09/10.