



## Análise energética e ambiental da produção de biodiesel

Ronaldo Hoffmann<sup>1</sup>, Michel Brondani<sup>1</sup>, Jonas Schmidt Kleinert<sup>1</sup>, Jacson Douglas Rodrigues Trindade<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (hoffmann@uol.com.br)

### Resumo

O presente trabalho fez uso da metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV) e da Análise da Eficiência Energética para avaliar a produção de biodiesel no estado do Rio Grande do Sul (RS). A ACV foi aplicada a fim de avaliar e comparar ambientalmente as etapas do processo produtivo enquanto que a eficiência energética foi empregada para estimar a viabilidade energética do processo. Os resultados, em termos ambientais, indicaram a etapa agrícola com maior potencial de impacto, pois de forma geral obteve maior percentagem em 6 das 11 categorias de impacto presentes no método de avaliação escolhido. Dentre as etapas industriais, a transesterificação do óleo apresentou maior impacto ambiental. Em termos energéticos, o processo se mostrou viável já que a relação saída/entrada foi de 3,42 unidades energéticas, evidenciando um saldo positivo para o processo.

Palavras-chave: Biodiesel, Eficiência Energética, Análise do Ciclo de Vida.

Área Temática: Biocombustíveis

### *Energy and environmental analysis of biodiesel production*

### Abstract

*This work made use of the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) and Energy Efficiency Analysis to evaluate the production of biodiesel in the state of Rio Grande do Sul (RS). The LCA was applied to evaluate and compare environmentally the steps of production while energy efficiency was employed to estimate the energetic viability of the process. The results, in environmental terms, indicated the agricultural stage with the greatest potential impact getting higher percentage in 6 of the 11 impact categories present in the evaluation method chosen. Among the industrial steps, transesterification of the oil showed higher environmental impact. In energy terms, the process showed viable with a relation output/input energy of 3.42 units, showing a positive balance for the process.*

Key words: Biodiesel, Energy Efficiency, Life Cycle Assessment.

Theme Area: Biofuels



## 1 Introdução

O Brasil passou a incentivar a produção de biodiesel, em grande escala, a partir do ano de 2003/2004 com a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

Após a consolidação do PNPB, o Brasil, adquiriu patamar de grande potência produtora de biodiesel. Portanto, é interessante a realização de uma análise energética do seu processo produtivo aliado a uma análise ambiental, já que o biodiesel se tornou uma valiosa fonte de energia renovável com expressivo e crescente uso, em especial na gradativa adição (atualmente em 5%) ao diesel convencional.

A análise energética implica na verificação do consumo de energia em relação a produção energética, enquanto que uma análise ambiental permite avaliar, por exemplo, as etapas produtivas de maior impacto ambiental, sendo pertinente o uso dessas metodologias, em conjunto, a fim de aumentar o conhecimento do processo e sendo complementar às análises econômicas primordial e comumente realizadas.

De acordo com Ferrão (1998), o termo ciclo de vida refere-se a todas as etapas e processos de um sistema de produção ou de serviços, englobando a cadeia de produção e consumo, considerando consumos de energia, matérias-primas e produtos auxiliares, aspectos relativos aos sistemas de transportes e logística, características da utilização, manuseio, embalagem, marketing e consumo, resíduos gerados e respectiva reciclagem ou outro destino final. As informações coletadas na ACV e os resultados de suas análises e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação da performance de projetos e reprojetos de produtos ou processos e/ou planejamento estratégico (CHEHEBE, 1998).

Quanto à sua padronização, a International Organization for Standardization (ISO) referencia a ACV à família 14040, tendo publicadas as normas ISO 14040 (Princípios e Estrutura Básica), ISO 14041 (Objetivo, Escopo e Análise do Inventário), ISO 14042 (Avaliação de Impactos Ambientais), ISO 14043 (Interpretação do Ciclo de Vida) e a ISO 14044 (Requisitos e Diretrizes). Segundo a ISO 14040 (2006), a ACV é estruturada em quatro fases para sua aplicação: Objetivo e Escopo; Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV); Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e Interpretação dos Resultados.

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, refletido pelo ganho líquido e pela relação saída/entrada. A eficiência medida pelo balanço de energia é conduzida determinando-se a quantidade de energia obtida na forma de produto em relação à energia utilizada no sistema para produzi-lo (HEITSCHMIDT et al., 1996).

As estimativas dos balanços de energia e de eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis, segundo Albuquerque et al. (2007). Englobando a fase industrial, o estudo amplia a análise do processo de modo a avaliar o produto durante boa parte de seu ciclo de vida, introduzindo maior confiabilidade aos resultados e permitindo estimar a viabilidade energética de sua produção.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar e comparar ambientalmente as etapas de produção do biodiesel e avaliar energeticamente seu processo de produção, em especial no Rio Grande do Sul, por meio da identificação, qualificação e quantificação dos fluxos de entrada e saída referentes a fronteira do sistema considerada. Os resultados de tal esforço podem auxiliar na tomada de decisão para melhoria no processo e na valoração do produto, voltando-se de maneira primordial, ao público acadêmico como estudantes, professores, pesquisadores, entre outros.



## 2 Metodologia

O processo de produção de biodiesel foi avaliado a partir da produção de 1 (uma) tonelada de biodiesel produzido (unidade funcional) de modo que as quantidades de matérias-primas e energia foram estimadas para tal produção. Para a ACV foram empregadas as recomendações dispostas na norma ISO 14040 em conjunto com o uso do software SimaPro® para obtenção dos resultados. Para o cálculo da eficiência energética (E.E) se fez uso da Equação (1), adaptada de Macedo et al. (2008).

$$E.E = \Sigma(\text{Energia gerada}) / \Sigma(\text{Energia fóssil introduzida}) \quad (1)$$

Onde:

Energia gerada = representa a energia final contida no(s) produto(s), onde se pode considerar os coproduto(s) do processo.

Energia fóssil introduzida = representa a energia de origem fóssil que entra no sistema de produção.

A fronteira física assumida para o sistema de produção foi do “berço ao túmulo” (Cradle to Gate), que de acordo com Capaz (2009), considera a etapa de obtenção da matéria-prima até o processamento do produto desejado. Neste caso, fica restrita apenas à etapa agrícola e à etapa industrial.

A extensão física dos fluxos contabilizados dentro da fronteira do sistema foram contabilizadas de acordo com seus níveis de regressão. Para Capaz (2009) e Baird et al. (1997), os níveis de regressão podem ser classificados em:

Nível 1: são considerados apenas os insumos de energia direta, aplicados ao processo, geralmente em termos de eletricidade e vapor.

Nível 2: em adição ao nível 1, é considerado o aporte energético referente aos insumos indiretos. No sistema de produção de biocombustíveis, contabiliza-se neste nível, a energia embutida nos fertilizantes e defensivos, consumo de diesel e combustíveis usados nas caldeiras que produzem o vapor usado no processo, por exemplo.

Nível 3: inclui-se a energia usada na produção de equipamentos de processo.

Nível 4: inclui-se a energia usada na obtenção de matérias-primas para produção de equipamentos, insumos, etc.

Geralmente, em uma análise energética não se passa do terceiro nível de regressão, uma vez que a contribuição dos níveis mais elevados vai se tornando insignificante.

Com base em tais conceitos, realizou-se o conhecimento e a descrição do processo de produção do biodiesel, consistindo na etapa agrícola, etapa de transporte e etapa industrial (extração do óleo bruto, refino do óleo e transesterificação). O levantamento dos dados industriais foi baseado na busca teórica em referências pertinentes sobre produção de biodiesel, na aquisição através de questionário aplicado e na coleta de dados em vivência industrial por meio de visitas técnicas em algumas indústrias produtoras de biodiesel do RS.

As fronteiras do sistema incluem a etapa agrícola e industrial, ou seja, é um estudo de análise “do berço ao portão” (Cradle to Gate), mostrado na Figura 1. A função do biodiesel foi considerada exclusivamente para geração de energia na forma de combustível.

Algumas considerações foram adotadas para realização da ACV como a simplificação das entradas e saídas de cada etapa optando pela utilização das utilidades e matérias-primas de maior quantidade e importância, excluindo-se os processos de infraestrutura (uso e produção de equipamentos, cimento, etc). Esta suposição foi feita após o refino das informações e

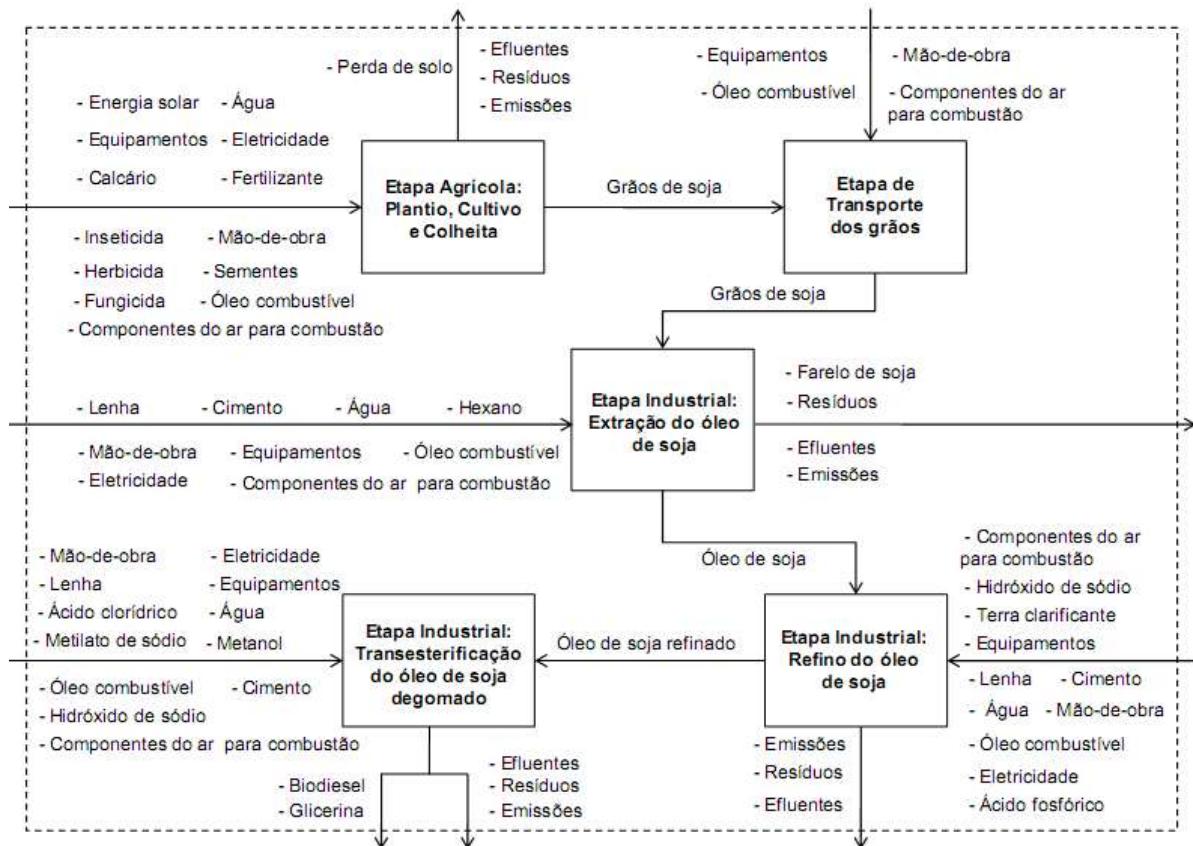


#### 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

algumas simulações no software SimaPro®. Informações e dados europeus contidos no banco de dados do software foram utilizados.

Figura 1 - Fronteira física do sistema.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 Resultados e Discussões

Para a produção de 1 tonelada de biodiesel, estimou-se que a produtividade de grãos de soja é, em média, 3,2 ton/ha (3.200 Kg/ha), com base em dados adquiridos na Emater/Condor (RS), bem como os fluxos de entrada como fertilizantes, herbicidas, etc.

A porcentagem de óleo contido no grão da soja é de 18%, segundo Paulillo et al. (2007), resultando em produtividade teórica de óleo de soja de 576 kg/ha.

Considerou-se que 1.000 litros óleo de soja produzam 1.000 litros de biodiesel, sendo que em massa, 1 tonelada de biodiesel é produzida por 1.018 kg de óleo de soja (CAPAZ, 2009), com rendimento maior que 98%. No entanto, Penedo et al. (2008) estimaram que 1 tonelada de biodiesel é gerada a partir de 995,73 kg de óleo de soja.

Adotando-se a média entre tais valores, tem-se uma quantidade de 1.006,87 kg de óleo de soja (ou 1.095,61 litros). Sabe-se que a densidade ( $\rho$ ) do biodiesel e do óleo de soja são:

$$\rho_{\text{biodiesel}} = 880 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{óleo de soja}} = 919 \text{ Kg/m}^3$$

A produtividade teórica de óleo é de 576 kg/ha ou 626,77 L/ha, portanto, para produção de 1.006,87 kg de óleo de soja é necessário uma área referente a 1,75 hectares (ha). Com a produtividade estimada em 3,2 ton/ha, 1,75 ha produzem 5.600 kg de soja.

As Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 expõem qualitativamente e quantitativamente os resultados mais pertinentes, tendo em vista a elevada quantidade de dados.



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Tabela 1 - Etapa agrícola: quantificação das entradas e saídas.

Entradas	Quantidade	Quantidade (J)
Adubo (fertilizante N,P e K)	525 kg	48,50E +08
Fungicidas (Opera, Standak e Talstar)	3,80 kg	3,69E +08
Herbicida Glifosato	5,25 L	2,70E +09
Inseticidas (Dimilin e Permitrina)	0,75 kg	2,29E +08
Calcário Dolomítico	2.625 kg	1,60E +09
Água	2.625 L	1,30E +07
Óleo combustível (Diesel)	87,50 L	3,27E +09
Sementes	87,50 kg	2,93E +09
Operações manuais	12,54 h	2,85E +07
Energia solar	24.840 kWh	8,94E +10
Energia elétrica	59,50 kWh	2,14E +08
Saídas	Quantidade	Quantidade (J)
Grãos de soja	5.600 kg	1,11E +11

\* Fator de conversão para base energética baseado em Cavalett (2008).

Tabela 2 - Etapa de transporte dos grãos: quantificação das entradas e saídas.

Caminhão de capacidade 10 ton - Distância média 139,82 km		
Entradas	Quantidade	Quantidade (J)
Óleo diesel	55,93 L	2,09E +09
Mão-de-obra	1,70 h	3,95E +06
Saídas	Quantidade	Quantidade (J)
Grãos de soja	5.600 kg	1,11E +11

\* Fator de conversão para base energética baseado em Cavalett (2008).

Os fluxos de entrada e saída da fase industrial foram baseados e calculados com base nos coeficientes mássicos presentes no estudo de Cavalllett (2008).

Tabela 3 - Etapa de extração do óleo: quantificação das entradas e saídas.

Entradas	Quantidade	Quantidade (J)
Grãos de soja	5.600 kg	1,11E +11
Energia elétrica	167,44 kWh	6,02E +08
Hexano	7,62 kg	3,41E +08
Mão-de-obra	1,125 h	2,56E +06
Lenha	0,70 m <sup>3</sup>	4,50E +09
Água	4,03 m <sup>3</sup>	2,00E +07
Óleo combustível (Diesel)	119,33 L	4,45E +09
Saídas	Quantidade	Quantidade (J)
Óleo de soja bruto	1.006,87 kg	3,90E +10
Farelo de soja	4.424,00 kg	6,60E +10

\* Fator de conversão para base energética baseado em Cavalett (2008).



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Tabela 4 - Etapa de refino do óleo: quantificação das entradas e saídas.

Entradas	Quantidade	Quantidade (J)
Óleo de soja bruto	1.006,87 kg	3,90E +10
Energia elétrica	12,67 kWh	4,50E +07
Óleo diesel	4,32 L	1,60E +08
Lenha	0,70 m <sup>3</sup>	4,50E +09
Mão-de-obra	1,28 h	2,90E +06
Água	0,82 m <sup>3</sup>	4,05E +06
Ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0,50 kg	-
Hidróxido de sódio (NaOH)	4,51 kg	-
Terra clarificante	3,52 kg	-
Saídas	Quantidade	Quantidade (J)
Óleo de soja degomado	1.006,87 kg	3,98E +10

\* Fator de conversão para base energética baseado em Cavalett (2008).

Tabela 5 - Etapa de transesterificação do óleo: quantificação das entradas e saídas.

Entradas	Quantidade	Quantidade (J)
Óleo de soja degomado	1.006,87 kg	3,98E +10
Óleo combustível (Diesel)	64,37 L	2,40E+09
Metanol	188,28 L	3,01E +09
Metilato de sódio	16,70 kg	6,52E +08
Eletricidade	0,89 kWh	3,20E +06
Água	514,51 m <sup>3</sup>	2,50E +09
Mão-de-obra	0,68 h	1,55E +06
HCl	8 kg	-
NaOH	4,21 kg	-
Lenha	0,70 m <sup>3</sup>	4,50E +09
Saídas	Quantidade	Quantidade (J)
Biodiesel	1.000 kg	3,20E +10
Glicerina	113,64 kg	1,38E +09

\* Fator de conversão para base energética baseado em Cavalett (2008).

Os dados contidos nas tabelas acima foram alocados no Simapro® e os resultados apresentam-se somente sob a forma de caracterização. O método de avaliação de impacto escolhido foi o Eco-indicador 99, o qual possui 11 categorias de impactos.

A Figura 2 mostra a comparação ambiental das etapas de produção do biodiesel.

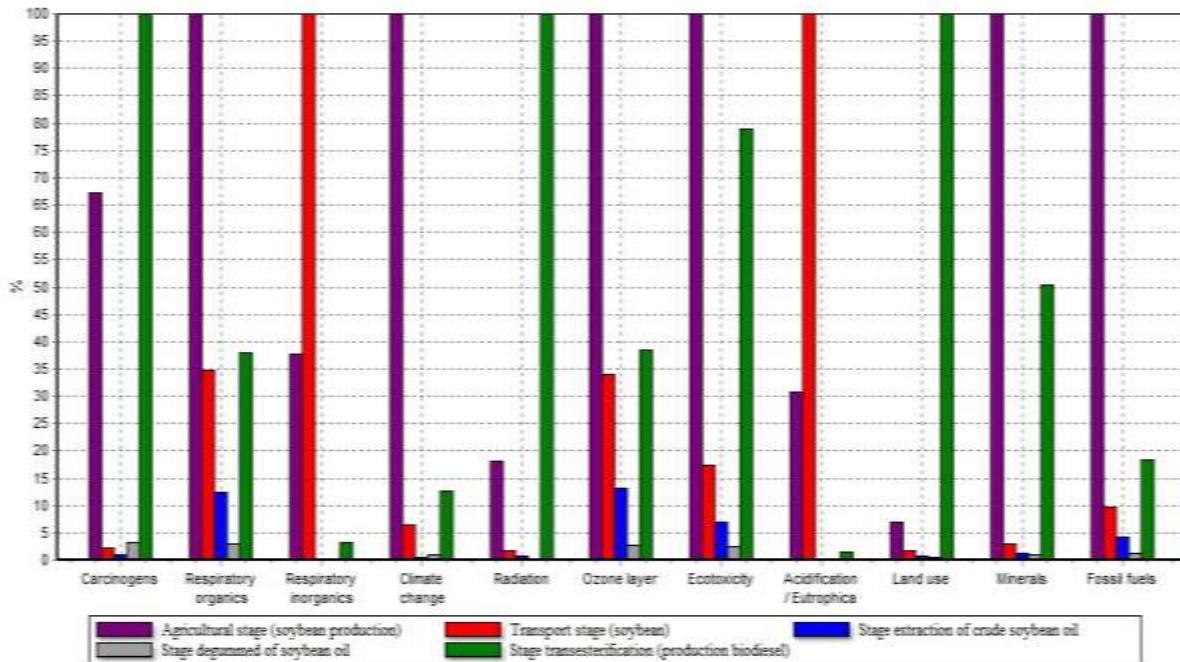
Entre as 11 categorias de impacto do método Eco-Indicador 99, a etapa agrícola (produção de grãos de soja) é responsável por maiores impactos em 6 categorias de impacto, seguida da etapa de transesterificação do óleo refinado de soja (conversão a biodiesel) com maiores impactos em 3 categorias e transporte dos grãos em 2 categorias de impacto.



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

Figura 2 - Comparação ambiental das etapas de produção do biodiesel.



A comparar processos; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.09 / Europe EI 99 E/E / Caracterização / A excluir processos de infra-estrutura

A etapa de refino do óleo de soja (óleo de soja degomado), no geral, foi a que menos impactou no meio ambiente, possuindo percentagens inferiores as demais etapas em todas as categorias de impacto, a exceção da categoria carcinogênicos, na qual apresenta percentagem ligeiramente superior à etapa de transporte dos grãos e extração do óleo bruto de soja.

No que se refere a análise da eficiência energética, fez-se algumas considerações e simplificações nos dados das Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5 como a conversão para potencial energético (em Joule) para padronizar as unidades. Para o ácido fosfórico, hidróxido de sódio e terra clarificante, não foi encontrado o fator de conversão energético e, portanto, não fizeram parte do cálculo. Crê-se que não influenciariam significativamente nos resultados tendo em vista a comparação com o valor energético de outras matérias-primas semelhantes.

A relação energética encontrada foi de 3,42, implicando em um balanço positivo de energia, ou seja, no processo avaliado ocorre uma maior geração de energia em detrimento do consumo de energia. Energeticamente, o processo se mostrou viável.

## 4 Conclusões

Comparando o processo como um todo, a etapa com maior potencial impacto ambiental ao meio ambiente foi a etapa agrícola. Inicialmente, seria indicado uma abordagem mais ousada na análise dessa etapa a fim de promover uma redução de seu potencial poluidor.

Avaliando apenas as etapas industriais, a transesterificação do óleo refinado possui maior potencial poluidor.

Em termos energéticos, o processo de produção de biodiesel no RS mostrou-se positivo já que foram encontradas 3,42 unidades de energia.

Por fim, a aplicação da ACV é importante no intuito de identificar as etapas potencialmente poluidoras de um processo e colaborar na tomada de decisões visando minimização de impactos ambientais. Também, a ACV e a análise da eficiência energética podem ajudar na valoração do produto.



## 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 a 25 de Abril de 2014

### Referências

- ALBUQUERQUE, F. A.; BELTRÃO, N. E. M.; VALE, D. G. Análise Energética do Algodoeiro na Agricultura Familiar em Diferentes Regiões nos Estados do Ceará e do Mato Grosso do Sul. **Circular Técnica 116**, Campina Grande, p. 1-7, 2007, ISSN 0100-6460.
- BAIRD, G.; ALCORN, A; HASLAM P. The energy embodied in building materials - updated New Zealand coefficients and their significance. In: **IPENZ Transactions**. v. 24, p. 46-54, 1997.
- CAPAZ, R. S. **ESTUDO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: ASPECTOS METODOLÓGICOS E ESTUDOS DE CASO**. 2009. 121 p. Dissertação Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia. Universidade de Itajubá, Minas Gerais, 2009, 121 p.
- CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**, Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008, 245 p.
- CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos - Ferramenta Gerencial da ISO 14000**. Editora Qualitymark Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, 1998, 104 p.
- FERRÃO, Paulo Cadete. **Introdução à gestão ambiental - A avaliação do ciclo de vida de produtos**. Lisboa: IST Press, 1998. 219 p.
- HEITSCHMIDT, R. K.; SHORT, R. E.; GRINGS, E. E. *Ecosystems, sustainability, and animal agriculture*. **Journal of Animal Science**, v. 74, 1996, pg. 1395-1405.
- ISO 14040. **Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework**, 2006, 20 p.
- MACEDO, I. C., SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R.. *Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020*. **Biomass and Bioenergy**. v. 32, 2008, pg. 582-59.
- PAULILLO, F. L.; VIAN, F. E. C.; SHIKIDA, A. F. P.; MELLO, T. F. *Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis?*. **Brasil. RER**, v. 45, n. 03, 2007, pg. 531-565.
- PENEDO, G. M.; TIZZIANI, E.; BRANDÃO, L. E. T. *Avaliação da Flexibilidade de Escolha dos Insumos de Produção do Biodiesel através da Teoria de Opções Reais*. **Revista Gestão.Org.** v. 6, 2008, pg. 300-320.