



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## **Análise de Sensibilidade do Emprego do Biodiesel em uma Plantação Comercial de Bambu, em Alternativa à Utilização do Óleo Diesel**

GHELMANDI NETTO, L.

*Graduation Program on Production Engineering, Paulista University (UNIP), São Paulo, Brazil, Rua Dr. Bacelar 1212 CEP 04026-002 - [luiznetto@unip.br](mailto:luiznetto@unip.br)*

### **Resumo**

Em Ghelmandi Netto 2009 and Ghelmandi Netto, et. al., 2012, uma Avaliação Multi-Critério (AMC) foi empregada em uma plantação comercial de bambu na Região Nordeste - localizada no Estado no Maranhão - visando a produção de papel. A AMC mostrou que o óleo diesel é um dos insumos mais consumidos durante todo o tempo de vida útil da plantação - 25 anos. O presente trabalho propõe uma análise de sensibilidade, substituindo o óleo diesel pelo biodiesel, insumo considerado 'mais limpo'. Esta análise de sensibilidade tem como objetivo a análise dos efeitos desta substituição. Atualmente o governo brasileiro obriga que, todo o óleo diesel comercializado, deva ter 8% de biodiesel em sua composição (mistura B8). Os outros cenários, que compõem a análise de sensibilidade além da mistura B8, são as misturas B25, B75 e B100.

*Palavras-chave: Análise de sensibilidade, plantação de bambu, avaliação multi-critério, biodiesel, óleo diesel.*

### **1. Introdução**

A grande preocupação com a escassez de recursos naturais do ecossistema existente em nosso planeta acarreta o desenvolvimento e o emprego de metodologias para uma maior eficácia no gerenciamento de recursos ambientais e na sustentabilidade. As metodologias criadas para a otimização do gerenciamento dos recursos ambientais e da sustentabilidade são aplicadas nos mais variados tipos de sistemas de produção a fim de avaliar com a maior clareza possível a quantidade de recursos ambientais que a implantação ou o funcionamento de um determinado sistema possa vir a consumir.

De maneira geral, todas as metodologias de avaliação de custos ambientais são divididas em duas categorias, *upstream* e *downstream*. As metodologias *upstream* proporcionam uma preciosa visão dos custos ambientais que possam estar ocultos, além de detectarem a (in)sustentabilidade de sistemas que são tidos como "limpos". Em contrapartida, as metodologias *downstream* são geralmente mais associadas à percepção imediata dos impactos causados ao ecossistema local, além de ter a possibilidade de revelar grandes diferenças entre sistemas que possuem o mesmo desempenho (Ulgiati et al., 2006).

De acordo com estas características, nos casos em que se deseja um conhecimento mais elaborado das condições do sistema avaliado, a utilização de uma única metodologia, seja ela

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo - Brazil - May 24<sup>th</sup> to 26<sup>th</sup> - 2017

*upstream* ou *downstream*, pode não proporcionar uma visão global do sistema que se quer avaliar. Para suprir esta necessidade é utilizada a Avaliação Multi-Critério (AMC). Este tipo de avaliação visa superar as inerentes limitações e as possíveis imprecisões nos resultados que a utilização de uma única metodologia de avaliação de custos ambientais traz consigo (Raugei et al., 2005, Ulgiati et al., 2006). Por intermédio da AMC também é possível a realização de uma consistente análise de sensibilidade, procedimento raramente adotado para a determinação da variabilidade e confiabilidade dos resultados obtidos (Ulgiati et al., 2006).

A avaliação dos fluxos de massa e energia de um determinado sistema podem ser utilizados para avaliar a eficiência do processo produtivo, descrever a taxa de exploração dos recursos naturais disponíveis e prover uma avaliação quantitativa dos impactos ao meio ambiente. Muitos métodos de avaliação estão atualmente disponíveis, e cada um deles pode fornecer uma visão particular do processo analisado. As avaliações multicritério são populares, uma vez que uma variedade de ferramentas permite aos produtores realizar uma análise integrada da eficiência, sustentabilidade e viabilidade do processo de produção (Ulgiati et al., 2006; Federici et al., 2008; Giannetti et al., 2008). A escolha das ferramentas a serem utilizadas em uma AMC, está diretamente relacionada com os parâmetros a serem avaliados.

Em (Ghelmandi Netto et. al., 2012), a AMC foi utilizada em uma plantação comercial de bambu, localizada na Região Nordeste do Brasil. A AMC foi realizada com o intuito de avaliar o plantio e colheita da plantação em questão durante os seus 25 anos de vida útil no nível global e local, abordando tanto os insumos utilizados como produtos obtidos pela plantação em questão. As metodologias que compuseram a AMC em (Ghelmandi Netto et. al., 2012) foram: Emissões Diretas e Indiretas de CO<sub>2</sub>, Intensidade de Fluxos de Materiais, Consumo Cumulativo de Exergia, Síntese em Emergia e Avaliação Econômica. Para este estudo, os dados obtidos em (Ghelmandi Netto et. al., 2012) foram re-trabalhados e atualizados a fim de melhorar a precisão deste trabalho.

### 1.1. O Bambu

Em vários países onde o fornecimento de matérias-primas de madeira é limitado, o bambu é um importante recurso de fibra não-madeireira utilizado como matéria-prima alternativa para a construção (Dongwei et al., 2011), fibras de reforço (González et al., 2011, Mahdavi et al., 2012), produção de papel (Banavath et al., 2011, El Bassam, 1998) e outras aplicações, incluindo a alimentação (Kleinhenz and Midmore, 2001). A geração de bioenergia por intermédio do bambu, já foi proposta em outros estudos (Scurlock et al., 2000; Anselmo Filho & Badr, 2004). A maioria dos estudos encontrados na literatura tendem a quantificar a biomassa gerada e convertida em carbono e/ou CO<sub>2</sub>, por florestas naturais de bambu (Nakai et al. 2003; Sakai et al. 2006; Sakai & Akiyama, 2005). Estudos também avaliam a utilização do bambu como restaurador dos nutrientes do solo em culturas rotativas (Embaye et al. 2005; Christanty et al. 1996; Shanmughavel & Francis, 1996). A Síntese em Emergia foi aplicada para avaliar o papel da mão-de-obra na plantação de bambu gigante no Brasil. Os resultados obtidos foram comparados com resultados da China e da Austrália (Bonilla et al., 2010). Um ranking, baseado no índice de sustentabilidade em emergia (ESI), mostrou que a produção de bambu é mais favorável na China. Entretanto, quando a renovabilidade incorporada na mão-de-obra utilizada na produção do bambu é incluída, o Brasil aparece em primeiro lugar.

### 1.2. O Biodiesel

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, o biodiesel é "Um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis que pode ser obtido por diferentes processos, tais como craqueamento, esterificação e transesterificação. Existem dezenas de espécies de plantas no Brasil que podem produzir biodiesel, tais como óleo de mamona, óleo de palma (palma), girassol, babaçu, amendoim, jatropa e soja, entre outros."

O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel em motores automotivos a diesel (caminhões, tratores, carros, etc.) e em motores de ciclo constante (geradores de eletricidade, calor, etc.). O biodiesel pode ser utilizado puro ou pode ser misturado com o óleo diesel em várias proporções. As misturas biodiesel/diesel são nomeadas de acordo com o percentual de biodiesel

contido na mistura. Por exemplo, uma mistura biodiesel/diesel, contendo 2% de biodiesel é nomeada mistura B2.

A lei número 13.263/2016, publicada no Diário Oficial em 23 de março de 2016 estabelece que até 2017, a proporção mínima obrigatória de adição de biodiesel no óleo diesel será de 8% (mistura B8).

Conforme calculado em (Ghelmandi Netto et. al., 2012), o óleo diesel é um dos insumos mais utilizados no plantio e colheita do bambu, durante os seus 25 anos de vida útil. No presente trabalho, uma análise de sensibilidade foi realizada, com o objetivo de atestar a viabilidade de substituição do óleo diesel pelo biodiesel em uma plantação de bambu visando a produção de papel.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. *Plantação de Bambu*

No ano de 2000, o Grupo Industrial João Santos publicou um manual direcionado aos produtores de bambu em potencial. Este manual traz um inventário de todos os custos relacionados à implantação e operação de um hectare de uma plantação comercial de bambu. Os dados utilizados para a avaliação da plantação de bambu foram retirados deste manual. De acordo com o manual, a plantação de bambu foi dividida em três períodos, durante seus 25 anos de vida útil: implantação, adaptação e operação. O período de implantação corresponde aos três primeiros anos da plantação. Durante este período, o solo é preparado para receber a plantação de bambu (limpeza, fertilização, sementeira). É no período de implantação que o primeiro corte do bambu é realizado. O período de adaptação corresponde aos próximos sete anos da plantação (4° ao 10°). Durante o período de adaptação, a plantação está se adaptando ao local de plantio. A utilização de insumos agrícolas é intensa durante o período de adaptação e os colmos estão maduros o suficiente para serem colhidos no intervalo de dois anos. O período de operação corresponde aos próximos quinze anos da plantação (11° ao 25°). É neste período que a plantação de bambu torna-se totalmente adaptada ao local de plantio (Grupo Industrial João Santos, 2000) e alcança sua máxima produção anual de 90 ton/ha.

### 2.2. *Análise de Sensibilidade*

Com o objetivo de minimizar a carga ambiental do sistema, uma análise de sensibilidade foi desenvolvida para a substituição do óleo diesel – um dos insumos mais utilizados na plantação de bambu – pelo biodiesel, considerado um insumo “mais limpo”.

A análise de sensibilidade foi dividida em quatro categorias de misturas biodiesel/diesel. A mistura regulamentada pelo Governo Brasileiro (mistura B8), outras duas misturas idealizadas (B20 e B50) e a total substituição do óleo diesel biodiesel (B100). A análise de sensibilidade tem como meta verificar a viabilidade da substituição do óleo diesel pelo biodiesel.

## 3 Resultados e Discussão

A Tabela 01 mostra os dados atualizados da AMC realizados em (Ghelmandi Netto, 2009 and Ghelmandi Netto, et. al., 2012), para a plantação de bambu em seus 25 anos de vida útil.

**Tabela 1.** AMC realizada na plantação de bambu, por período, em seus 25 anos de vida útil

	<b>Emissões Indiretas de CO<sub>2</sub></b> (kg CO <sub>2</sub> /ha)	<b>Emissões Diretas de CO<sub>2</sub></b> (kg CO <sub>2</sub> /ha)	<b>Intensidade de Materiais</b> (kg/ha)	<b>Consumo Cumulativo de Exergia</b> (MJ/ha)	<b>Síntese em Exergia</b> (10 <sup>16</sup> sej/ha)	<b>Avaliação econômica</b> (US\$/ha)
<b>Implantação</b>	2.461,24	2.080,79	60.958,81	33.402,75	6,66	1.306,21
<b>Adaptação</b>	4.679,72	3.749,81	96.297,90	64.732,02	6,59	3.685,64
<b>Operação</b>	9.921,71	8.804,34	46.111,59	139.243,89	15,5	11.299,96
<b>TOTAL</b>	<b>17.062,67</b>	<b>14.634,94</b>	<b>203.368,30</b>	<b>237.378,66</b>	<b>28,8</b>	<b>16.291,81</b>

As emissões diretas de CO<sub>2</sub> não foram consideradas na análise de sensibilidade. Neste trabalho adotou-se que a plantação que dá origem ao biodiesel remove completamente o CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera, quando o biodiesel é utilizado na plantação de bambu.

**Tabela 2.** Análise de Sensibilidade com a substituição do óleo diesel pelo biodiesel na plantação de bambu, durante seus 25 anos de vida útil.

<b>Mistura Biodiesel / Diesel</b>	<b>B8</b>	<b>B50</b>	<b>B75</b>	<b>B100</b>
<b>Emissões Indiretas de CO<sub>2</sub></b>	-5%	-12%	-29%	-58%
<b>Avaliação de Custos</b>	1%	1%	3%	7%
<b>Intensidade dos Fluxos de Materiais</b>				
<i>Abiótico</i>	11%	27%	66%	133%
<i>Biótico(*)</i>	0,1%	0,3%	0,6%	1,3%
<i>Água</i>	2,310%	5,775%	14,438%	28,876%
<i>Ar</i>	4%	11%	28%	56%
<b>Consumo Cumulativo de Exergia</b>	2%	4%	11%	22%
<b>Síntese em Exergia (Recursos Econômicos)</b>	2%	5%	12%	24%

(\*) O aumento no percentual de material biótico encontrado na tabela, mostra como a quantidade de material biótico aumentou em relação à quantidade total de materiais utilizados para a produção do óleo diesel

A tabela 2 mostra a análise de sensibilidade da substituição do óleo diesel pelo biodiesel. No que se diz respeito às emissões indiretas de CO<sub>2</sub>, a substituição é totalmente benéfica ao meio ambiente, diminuindo o total de emissões indiretas de CO<sub>2</sub> em 58%.

A avaliação de custos apresenta um aumento de, no máximo 7%, na mistura B100. Na mistura B8, este percentual sobe 1%. Caso seja levado em consideração somente o aspecto monetário, este aumento pode representar números consideráveis. O preço do biodiesel encontrado em (Meirelles, 2003) (R\$ 1,25 por litro) – preço próximo do encontrado no manual do Grupo João Santos – visa o consumidor final. Caso haja por parte do governo um incentivo tributário, para o estímulo da utilização do biodiesel, a análise de custos poderia trazer resultados mais satisfatórios.

A Análise de Fluxos de Materiais não apresentou resultados satisfatórios na substituição do biodiesel. Diferentemente do biodiesel, a utilização do óleo diesel não necessita de material biótico em sua produção. 1 kg de biodiesel necessita de 2.585,23 kg de material biótico para ser produzido. De acordo com os Fatores de Intensidade de Materiais (FIM) encontrados em (Cavalett, 2008), uma grande quantidade de água é necessária para a produção do biodiesel. Isso se deve ao fato de o biodiesel ser originado da soja, planta que requer uma grande quantidade de água em seu processo de

cultivo. Por este motivo, quando o biodiesel é utilizado, a quantidade de material necessária para sua produção aumenta em mil vezes.

No Consumo Cumulativo de Exergia, a substituição do óleo diesel pelo biodiesel aumenta o consumo de Exergia entre 2% e 22%. De acordo com (Talens Peiró et. al., 2010), que realiza uma extensa análise de exergia em dois processos de produção de biodiesel, a quantidade de materiais, energia e óleo diesel necessárias para a obtenção do biodiesel contribuem para este aumento de percentual.

Da mesma maneira que na Intensidade de Materiais, o aumento do percentual de recursos provenientes da economia, utilizados na Síntese em Emergia quando o biodiesel é utilizado (de 2% a 24%), se deve à quantidade de água utilizada para a produção do biodiesel.

## 4 Conclusões

A análise de sensibilidade utilizada neste trabalho permitiu a comparação dos impactos que a substituição do óleo diesel pelo biodiesel pode gerar no sistema analisado. A análise de sensibilidade mostrou que, em algumas metodologias, especialmente na intensidade de fluxos dos materiais, o emprego do biodiesel acarretou no aumento do consumo de recursos, principalmente de água. Em contraste ao aumento da quantidade de água necessária para a produção do biodiesel, a análise de sensibilidade também mostrou resultados satisfatórios no que se diz respeito às reduções das emissões de CO<sub>2</sub> diretas e indiretas.

Em termos monetários, a análise de sensibilidade mostrou que a substituição do óleo diesel pelo biodiesel não apresentou resultados extremamente ruins. No caso de o governo optar pelo uso de políticas de incentivo à utilização do biodiesel, com isenções tributárias, estes percentuais encontrados poderiam ser facilmente diminuídos.

## References

- Anselmo Filho, P., Badr, O. 2004. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. *Applied Energy*. 77. p. 51-67.
- Banavath, H. N., Bhardwaj, N. K., Ray, A. K. 2011. A comparative study of the effect of refining on charge of various pulps. *Bioresource Technology*, 102 (6), p.4544-4551
- Bonilla, S. H.; Guarnetti, R. L.; Almeida, C. M. V. B.; Giannetti, B. F. 2010. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: Exploring the influence of labour, time and space. *Journal of Cleaner Production* 18, p. 83-91.
- Christanty, L., Maily, D., Kimmins, J.P. 1996. "Without bamboo the land dies": Biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system. *Forest Ecology and Management* 87, p. 75-88.
- Dongwei, Y., Hongwei, T., Yingjun, R. 2011. A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emission. *Energy and Buildings*, 43 (10), p.2638-2646.
- El Bassam N. 1998. *Energy plant species: their use and impact on environment and development*. London. James and James. 321 pp.
- Embaye, K., Weih, M., Ledin, S., Christersson, L. 2005. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. *Forest Ecology and Management* 204, p. 159-169.

- Federici, M.; Ulgiati, S.; Basosi, R. A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems. *Energy* 33, p. 760-775. 2008.
- Ghelmandi Netto, L. 2009. Avaliação da Carga e Custos Ambientais em uma Plantação Comercial de Bambu: Estudo de Alternativas de Produto Final e Substituição de Recursos. Master Thesis, Universidade Paulista. 304 p.
- Ghelmandi Netto, L.; Giannetti, L.; Bonilla, S. H.; Rótolo G. and Almeida, C. M. V. B. An overtime multi-criteria accounting of a Brazilian bamboo plantation. 7th Biennial Energy Research Conference. University of Florida. 10 p.
- Giannetti, B. F.; Bonilla, S. H.; Silva I. R.; Almeida, C. M. V. B. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. *Journal of Cleaner Production* 16, p. 1106-1117. 2008.
- González, D., Santos, V., Parajó, J. C. 2011. Manufacture of fibrous reinforcements for biocomposites and hemicellulosic oligomers from bamboo. *Chemical Engineering Journal*, 167 (1), p.278-287
- Herendeen, R. 1998. *Ecological Numeracy: quantitative analysis of environmental issues*. John Wiley and Sons, Canada.
- João Santos Industrial Group. 2000. Bambu, do plantio à colheita – Manual do fazendeiro florestal. SINDIFLORA. p. 1-33.
- Kleinhenz, V., Midmore, D. J. 2001. Aspects of bamboo agronomy. *Advances in Agronomy*, 74, p.99-153
- Mahdavi, M., Clouston, P. L., Arwade, S. R. 2012. A low-technology approach toward fabrication of Laminated Bamboo Lumber. *Construction and Building Materials*, 29, p.257-262
- Meirelles, F. S. Biodiesel e o impulso ao Agronegócio, 2003. p. 1-27.
- Ministério de Minas e Energia. 2016. Biodiesel. Website: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/perguntas.html>. Acessado em 28/03/2016.
- Nakai, Y., Kitamura, K., Suzuki, S., Abe, S. 2003. Year-long carbon dioxide exchange above a broadleaf deciduous forest in Sapporo, Northern Japan. *Tellus* 55B, p. 305-312.
- Raugei, M.; Bargigli, S.; Ulgiati, S. A multi-criteria life cycle assessment of molten carbonate fuel cells (MCFC) – a comparison to natural gas turbines. *International Journal of Hydrogen Energy* 30. p. 123-130. 2005.
- Sakai, T., Akiyama, T. 2005. Quantifying the spatio-temporal variability of net primary production of the understory species, *Sasa senanensis*, using multipoint measuring techniques. *Agricultural and Forest Meteorology* 134, p. 60-69.
- Sakai, T., Akiyama, T., Saigusa, N., Yamamoto, S., Yasuoka, Y. 2006. The contribution of gross primary production of understory dwarf bamboo, *Sasa senanensis*, in a cool-temperate deciduous broadleaved forest in central Japan. *Forest Ecology and Management* 236, p. 259-267.
- Scurlock, J. M. O., Dayton, D. C., Hames, B. 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource?. *Biomass and Bioenergy* 19. p. 229-244.
- Shanmughavel, P., Francis, K. 1996. Above ground biomass production and nutrient distribution in growing bamboo (*Bambusa bambos* (L) voss). *Biomass and Bioenergy* 10, p. 383-391.
- Talens Peiro, L.; Villalba Méndez, G.; Sciubba, E.; Gabarrell i Durany, X. 2010. Extended exergy accounting applied to biodiesel production. *Energy*. 35. p. 2861-2869.

Ulgiati, S., Raugei, M., Bargigli, S. 2006. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling* 190. p. 432-442.