

# Produção de biocombustíveis

## A questão do balanço energético

Segundo Urquiaga <sup>1</sup>  
Bruno José Rodrigues Alves <sup>2</sup>  
Roberto Michael Boodey <sup>3</sup>

### Resumo

Atualmente existe um crescente interesse por fontes alternativas de energia, principalmente por aquelas que contribuam em mitigar as emissões de CO<sub>2</sub>, característica das fontes tradicionais de energia fóssil. Para isso, o uso de biocombustíveis, como lenha, carvão vegetal, bio-etanol, óleo de dendê e biodiesel produzido pela esterificação de óleos vegetais com metanol e etanol, são vistos hoje como alternativas viáveis. Contudo, pouca atenção vem sendo dada aos estudos do balanço energético, que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida em todo o processo da produção do biocombustível, incluindo-se o processo agrícola e industrial. Somente culturas de alta produção de biomassa e com baixa adubação nitrogenada, como a cana-de-açúcar e dendê, têm apresentado balanços energéticos altamente positivos (média de 8,7). No caso do biodiesel de mamona, o balanço energético é baixo (<2), o que poderia ser melhorado mediante seleção de variedades para alto rendimento e substituição e ou redução da adubação nitrogenada com o uso de leguminosas-adubos verdes em rotação ou consórcio.

### Introdução

A produção de biocombustíveis, seja de biomassa sólida, como lenha ou carvão vegetal, ou líquidos, como o bio-etanol produzidos de cana-de-açúcar, óleo de dendê ou biodiesel produzido pela esterificação de óleos vegetais com metanol ou etanol, pode ter várias justificativas econômicas, sociais e ambientais. As vantagens ambientais do uso de biocombustíveis líquidos para veículos vem de duas possíveis fontes:

- A possível mitigação das emissões de gases ou partículas pelos veículos que são diretamente prejudiciais a saúde humana ou ao meio ambiente, como monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre e nitrogênio.
- A mitigação das emissões dos gases do chamado "efeito estufa", principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Recentemente no Brasil muita atenção vem sendo dada a produção de biodiesel. Os principais fatores para esse maior interesse estão relacionados com: a) aumentos contínuos do preço de petróleo e seus derivados; b) vantagens na mitigação de emissões de CO<sub>2</sub>; c) possibilidade de captar recursos internacionais

<sup>1</sup> Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. urquiaga@cnpab.embrapa.br

<sup>2</sup> Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. bruno@cnpab.br

<sup>3</sup> Pesquisador da Embrapa Agrobiologia. bob@cnpab.embrapa.br

por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ou Clean Development Mechanism (CDM) do Acordo de Quioto, ou do mercado internacional de créditos de carbono (HOLANDA, 2004). Entretanto, os vários artigos na imprensa e trabalhos científicos publicados sobre este assunto não fornecem informações sobre as quantidades de combustíveis fósseis utilizados na produção dos biocombustíveis. A relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida em todo o seu processo de produção, incluindo-se o processo agrícola e industrial, fornece o balanço energético do combustível. Neste sentido, nos EUA e Europa vários trabalhos mostram balanços energéticos negativos. Por exemplo, Pimentel (2001) calculou que são necessários 1,65 GJ (Giga Joules) de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma do etanol do milho, nos Estados Unidos, e GOVER et al. (1996) calcularam que no Reino Unido seriam necessários 1.01 GJ de energia fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma de biodiesel de canola (Rape Methyl Ester - RME). Entretanto, dois relatórios recentes dos EUA (SHAPOURI et al., 2002) e da Comunidade Européia (ARMSTRONG et al., 2002), que consideram muitos estudos feitos nos dois continentes, concluíram, respectivamente, que é necessário 0,81 GJ de energia fóssil para a produção de 1.0 GJ de energia na forma de etanol derivado do milho, e 0,68 GJ energia fóssil para produzir 1,0 GJ na forma de RME.

Neste trabalho são apresentados dados disponíveis sobre balanços energéticos para a produção de etanol de cana-de-açúcar e óleo de dendê em condições brasileiras e malasianas, respectivamente, e também se faz um análise preliminar semelhante sobre o balanço energético referente a produção de biodiesel de mamona.

## Cana-de-açúcar

O primeiro balanço energético calculado para cana-de-açúcar em condições brasileiras

foi publicado por Silva et al. (1978) antes da produção de veículos que usavam etanol hidratado. Este estudo foi a base de um trabalho mais atualizado, publicado por Boddey (1993), mas os dados aqui apresentados derivaram principalmente do trabalho de Machado (1998). Atualmente a produtividade média de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo é de 84 Mg (toneladas métricas) ha<sup>-1</sup>, e a produção de etanol de cana é próximo de 86 litros/Mg de cana fresca. Utilizando esses valores e um valor calorífico de etanol de 22,3 MJ L<sup>-1</sup>, a produção total de energia no etanol soma 161,1 GJ ha<sup>-1</sup>. A Tabela 1 mostra os ingressos de energia fóssil necessários e o resultante balanço energético da produção de etanol derivado da cultura.

**Tabela 1.** Balanço energético para a produção de etanol de cana-de-açúcar sob condições brasileiras.

	ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Rendimento (colmos de cana)	84,0 Mg
Produção de etanol	7.224 L
<b>Ingressos de energia fússil</b>	
<b>GJ</b>	
1. Máquinas agrícolas e transporte à usina	5,62
2. Fertilizantes/pesticidas	7,23
3. Mudas/toletes	0,48
4. Equipamentos e prédios	6,03
5. Insumos na usina <sup>(1)</sup>	0,62
<b>Total</b>	<b>19,98 GJ</b>
<b>Energia produzida no etanol</b>	<b>161,10 GJ</b>
<b>Balanço energético =</b>	<b>8,06</b>
Energia no biocombustível/ Energia fóssil investida	

<sup>(1)</sup> Reagentes químicos utilizados no processamento da cana, e lubrificantes etc.

Os primeiros trabalhos sobre balanço energético da produção de etanol da cana-de-açúcar foram publicados no exterior nos anos 70, e os resultados sempre foram muito baixos ou negativos devido ao alto consumo de energia fóssil no processamento do mosto e na destilação do etanol na usina. Entretanto, poucos anos após o começo do ProÁlcool, as usinas conseguiram substituir toda essa energia fóssil,

correspondente a mais de 50% daquela produzida no etanol (BODDEY, 1993), pelo uso do bagaço da cana. Atualmente muitas usinas com excesso de bagaço estão gerando eletricidade que é vendida para a rede estadual. Se esta energia excedente for incluída no balanço energético do etanol, o valor do balanço sobe para mais de 10 para 1 (MACHADO, 1998).

É interessante comparar esse balanço energético calculado para as condições reais do Brasil com os balanços da produção de biodiesel de canola (RME) ou de etanol do milho (ou da beterraba ou do trigo) da Europa e dos EUA. O balanço energético positivo da produção de etanol de cana-de-açúcar de 8.06 mostra que para produzir 1 GJ de energia, nesta forma, são necessários 0,124 GJ de energia fóssil, em comparação com 0,81 e 0.68 GJ de energia fóssil para produzir 1 GJ de energia na forma de etanol do milho ou do biodiesel de canola (RME). Os biocombustíveis produzidos nos EUA e na CE praticamente não merecem este nome, se for contabilizado somente a economia na liberação de CO<sub>2</sub>.

## Dendê

Por muitos anos, tanto a Ceplac, no sul da Bahia, e a Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus, promoveram estudos agrônômicos sobre a utilização da cultura de dendê e conduziram programas de melhoramento dessa espécie. Um documento da Embrapa Amazônia Ocidental cita que "A inexpressiva participação do Estado do Amazonas e sobretudo do Brasil no cenário mundial de produção de óleo de palma (óleo de dendê), com cerca de apenas 0,5% da produção mundial em 1999, apesar de dispor do maior potencial de expansão da cultura no planeta, é conseqüência da tímida expansão da agroindústria do dendê no País e reflete a inexistência de políticas e programas governamentais especialmente desenhadas para a atividade". A produção mundial óleo de dendê supera os 20 milhões de Mg ano-1, sendo 80% produzido no sul da Ásia, principalmente

na Indonésia e Malásia. É na Malásia onde foram desenvolvidos mais estudos sobre a possível utilização desse óleo como combustível.

Os dados utilizados no balanço energético do óleo de dendê neste trabalho (Tabela 2) foram retirados principalmente do trabalho de Wood e Corley (1991), baseado em grandes plantações (Unilever Ltd.) na Malásia. Produções de até 7 ou 8 Mg do óleo ha<sup>-1</sup> já foram registradas; plantações bem manejadas geralmente produzem aproximadamente uma média de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de cachos contendo entre 18 e 22% de óleo. No trabalho de Wood e Corley (1991), os autores utilizaram uma produtividade de 3.87 Mg ha<sup>-1</sup> do óleo principal com um valor calorífico de 39,9 MJ kg<sup>-1</sup> além de 450 kg de óleo do palmiste (*Palm kernel oil*) com valor calorífico muito semelhante. Na estimativa dessa produtividade, que é baixa, os autores contabilizaram toda a área da plantação incluindo palmas com menos de 4 anos de idade, que ainda não produzem frutas. Como o preço do óleo do palmiste é muito mais alto, seria mais lógico vendê-lo no mercado internacional, e por isso não foi incluído no balanço energético.

No balanço energético para cana-de-açúcar, calculado por Machado (1998), os custos energéticos dos prédios e equipamentos foram incluídos, baseados na energia utilizada na sua fabricação dividido pelo número de anos de utilidade (SILVA et al., 1978). No caso do óleo

**Tabela 2.** Balanço energético para a produção de óleo de dendê sob condições da Malásia.

	ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Rendimento (cachos)	18,0 Mg
Produção de óleo	3.870 kg
<b>Ingressos de energia fússil</b>	
1. Máquinas agrícolas e transporte à usina	5,14
2. Fertilizantes	11,22
3. Pesticidas	0,80
4. Mão-de-obra	0,67
<b>Total</b>	<b>17,83 GJ</b>
	<b>154,41 GJ</b>

de dendê, este item não foi contabilizado. É importante destacar a importância do fertilizante químico no balanço energético. Apesar da programação de adições anuais de 252 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> versus 88 kg N ha<sup>-1</sup>, o custo energético com K<sub>2</sub>O foi somente de 3,45 GJ ha<sup>-1</sup> (16,5 MJ kg K<sup>-1</sup>), em comparação com 6,89 GJ ha<sup>-1</sup> com o uso de N (78,1 MJ kg N<sup>-1</sup>). Isso reflete o elevadíssimo custo energético da produção de N pelo processo Haber que utiliza grandes volumes de gás natural. Uma das razões do baixo custo energético da produção de etanol da cana-de-açúcar, no Brasil, é a baixa quantidade de N utilizada em comparação com outros países produtores (BODDEY, 1993). Após a extração do óleo, existe pelo menos 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos que, apesar do fato de ter entre 30 (fibra) e 65% (cachos vazios) de umidade, fornece energia suficiente (estimada em 24 GJ ha<sup>-1</sup>) para a operação de toda a usina de extração e purificação do produto. Parece que essa exigência é chave para produzir um biocombustível com um balanço energético favorável.

## Mamona

Não existem, ainda, dados suficientes para estimar o balanço energético desta cultura. Dados de produtividade citados na literatura sugerem que, por enquanto, a produtividade média está em torno de 500 kg de óleo ha<sup>-1</sup>, (BELTRÃO et al., 2003), mas o rendimento potencial com irrigação pode ser mais que o dobro (HOLANDA, 2004). O valor calorífico desse combustível é cotado a 40,5 MJ kg<sup>-1</sup>, e por isso a produção energética deve ser aproximadamente de 20,3 GJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A adubação recomendada por Beltrão et al. (2003) é de 50 kg N (3,91 GJ), 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,35 GJ) e 25 kg K<sub>2</sub>O (0,34 GJ) ha<sup>-1</sup>. Se o custo energético da conversão do óleo da canola é de aproximadamente 12,0 MJ kg<sup>-1</sup> (ARMSTRONG et al., 2002), e o mesmo for igual para o biodiesel do óleo da mamona, o total de ingresso de energia fóssil seria de 4,6 GJ (fertilizantes) + 6,0 GJ ha<sup>-1</sup> (conversão do óleo para biodiesel). Não

estão incluídos no balanço os custos energéticos com preparo do solo, calagem, pesticidas e transporte, com o qual o balanço deve ser menor que 2,0. Isto é muito baixo comparado com os valores para etanol da cana-de-açúcar ou óleo de dendê, mas semelhantes ao da produção de biodiesel de canola (RME), na Europa.

## Conclusão

O balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético. Como o balanço positivo é altamente dependente do rendimento da cultura e do menor consumo de N-fertilizante, para o caso de culturas de baixa produção de óleo a alternativa é o melhoramento genético e a otimização da contribuição da fixação biológica de N<sub>2</sub> através da adubação verde que permita reduzir ao mínimo a adubação nitrogenada.

## Referências

- ARMSTRONG, A. P. et al. **Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe: an update**. Brussels: CONCAWE, 2002. 18 p. (CONCAWE. Report, 2/02). Disponível em: <<http://www.concawe.be/1FGJLPMJAJBJBHPCKIKJIDBDFJPDBY9D BYW69DW3571KM/CEnet/docs/DLS/2002-00213-01-E.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2004.
- BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Mamona: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o Semi-Árido brasileiro**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2003. 19 p. (Circular Técnica, 70)
- BODDEY, R. M. "Green" energy from sugar cane. **Chemistry & Industry**, London, n. 10, p 355-358, May, 1993.
- SILVA, J. G. da; SERRA, G. E. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. **Science**, Washington, v. 201, n. 4358, p. 903-906, Sept. 1978.
- GOVER, M. P. et al. **Alternative road transport fuels: a preliminary life-cycle study for the UK**. Oxfröd: Energy Technology Support Unit, 1996. v. 1 e 2. (ETSU report R92)
- HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados - Coordenação de Publicações, 2004. 200 p. (Cadernos Altos Estudos).
- MACHADO, I. de C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v. 14, n.1, p 77-81, 1998. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/els/09619534>>. Acesso em: 21 ago. 2004.

PIMENTEL, D. The limits of biomass utilization. In THE ENCYCLOPAEDIA of Physical Science and Technology. New York: Academic Press, 2001. 325 p.

SHAPOURI, H. et al. **The Energy Balance of Corn Ethanol**: an update. U.S. Department of Agriculture - Office of Energy Policy and New Uses, 2002 (Agricultural Economic Report , 814).

Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/oepnu/aer-814.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2004..

WOOD, B. J.; CORLEY, R. H. V. The energy balance of oil palm cultivation. In : PORIM INTERNATIONAL PALM OIL CONFERENCE, Kuala Lumpur, Malaysia, 1991. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malaysia: Oil Research Institute of Malaysia, 1991. p.130-43.

---