

# BALANÇO ENERGÉTICO DAS CULTURAS DE GIRASSOL E SOJA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL<sup>1</sup>

*Sunflower and Soybean Energy Balance for Biodiesel Production*

Décio Luiz Gazzoni<sup>2</sup>, Paulo Henrique Nardon Felici<sup>3</sup>, Rafael Machado e Silva Coronato<sup>4</sup> e Ricardo Ralisch<sup>5</sup>

**Resumo:** O balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica e a sustentabilidade de um programa de agroenergia, ao estabelecer a relação entre o total de energia contida no biocombustível e demais derivados de uma determinada matéria-prima e a quantidade de energia investida em todo o processo de produção, incluindo-se as etapas agrícola e industrial. Neste estudo, foram calculados os gastos de energia nos sistemas de produção de girassol e soja para fabricação de biodiesel e a energia contida nos grãos de cada uma das culturas. Consideraram-se as atividades que requerem gasto de energia no cultivo, no transporte e no processamento de soja e girassol para produção de biodiesel. Concluiu-se que na cultura do girassol, para cada unidade de energia que entra no sistema, são produzidas 2,37 unidades de energia, sendo essa relação de 1:3,95 para a soja. Considerando a utilização da torta, a soja demonstra melhor desempenho energético, por apresentar maior produtividade, porém, analisando apenas a obtenção de óleo, o girassol mostra-se mais eficaz (1:1,42) que a soja (1:1,3), por possuir maior teor de óleo no grão.

**Palavras-chave:** Balanço energético, soja, girassol, biodiesel e caloria.

**Abstract:** Energy balance is the best parameter to define technical viability and sustainability of an agrienergy program, by establishing the relationship between biofuel and co-products of a given feedstock energy output and the quantity of energy inputs during the production process, including the agricultural and industrial stages. In this study, the amount of energy necessary to produce biodiesel from soybean and sunflower was calculated as well as the energy contents of soybean and sunflower biodiesel and cake. It was concluded that for each input energy unit for sunflower, 2.37 energy units are produced, this relation being 1:3.95 for soybeans. Considering meal utilization, soybean had the best energy performance, because of its higher productivity; but based on oil production alone, sunflower is more efficient (1:1.42) than soybeans (1:1.3), because of its higher seed oil content.

**Keywords:** Energy balance, soybean, sunflower, biodiesel and calorie.

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 18.1.2007 e aceito em 9.3.2007.

<sup>2</sup> Pesquisador, Embrapa Soja, 86001-970 Londrina-PR, <e-mail: gazzonid@cnpso.embrapa.br>;<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina e Bolsista da Capes, <felici@cnpso.embrapa.br>;

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina e Bolsista de Iniciação Tecnológica Industrial – CNPq, <rafamasic@yahoo.com>; <sup>5</sup> Professor Associado do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, <ralisch@uel.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

Existe um crescente interesse da sociedade mundial por fontes renováveis de energia, principalmente aquelas que contribuem para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, característica das fontes tradicionais de energia fóssil. Segundo Urquiaga et al. (2005), os biocombustíveis são vistos, hoje, como uma alternativa viável de uso. Ainda de acordo com os autores, pouca atenção vem sendo dada aos estudos de balanço energético (BE), que estabelece a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia investida em todo o processo de produção, incluindo-se as etapas agrícola e industrial.

O BE é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica de um programa de agroenergia. Para ser positivo, o BE depende de diversos fatores, em especial do rendimento da cultura e do menor consumo de fertilizantes nitrogenados, que demandam grande quantidade de energia para sua produção. Assim, alguns dos desafios da pesquisa agropecuária são aumentar a produtividade da cultura e o teor de óleo do grão e promover a utilização da adubação verde e a fixação simbiótica como fonte de N, além do menor uso de máquinas e implementos.

A energia consumida no sistema de produção de uma cultura não é de fácil determinação, pois depende de muitos fatores. É necessário estimar a energia consumida em todo o processo produtivo, desde a fabricação de máquinas e implementos, a produção de insumos, a semeadura, o manejo e a colheita, até o transporte do produto agrícola ao local de processamento.

O consumo de combustível em sistemas de produção agrícola pode apresentar variação em uma mesma operação, pois depende dos fatores clima, topografia, tipo de solo, profundidade de trabalho, tamanho e forma da área de trabalho, habilidade do operador

e outros. No Brasil, país de dimensões continentais, é difícil considerar valores exatos de gastos, por isso tomam-se como base os valores médios.

Alguns estudos que envolvem biocombustíveis, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, apontam para BEs tanto negativos quanto positivos. Pimentel e Patzek (2005) calcularam que são necessárias, aproximadamente, 6.597 kcal de energia fóssil para produzir 1 litro de etanol do milho nos Estados Unidos. Entretanto, 1 litro de etanol tem o valor energético de 5.130 kcal, resultando em um BE negativo de 1.467 kcal. Macedo et al. (2004), em levantamento da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, relataram balanços energéticos positivos, sendo na média 1:8,3 e nos melhores casos 1:10,2. Sheehan et al. (1998) relataram um saldo negativo na conversão de soja em biodiesel, pois a obtenção de 1MJ de biodiesel exige 1.24 MJ de energia fóssil. Pimentel e Patzek (2005) também estimaram valor energético negativo, 1,08:1, na produção de biodiesel de soja.

O objetivo deste trabalho foi efetuar um levantamento dos gastos de energia nos sistemas de produção de girassol e soja para fabricação de biodiesel, comparando-os com a energia obtida em grãos, para estabelecer o balanço de energia de cada cultura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Assumi u-se como premissa que as recomendações técnicas dos sistemas de produção de soja e girassol seriam rigorosamente observadas e que as condições de clima iriam situar-se no ponto ótimo para ambas as culturas. Atendidas estas premissas, é factível obter produtividade de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> para o girassol e 4.000 kg ha<sup>-1</sup> para a soja.

As operações do sistema de produção da matéria-prima que redundam em gastos energéticos estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Atividades que requerem gasto de energia no cultivo de girassol e soja no Brasil  
**Table 1** – Activities requiring energy inputs in sunflower and soybean production in Brazil

Pré – Semeadura	Semeadura	Manejo	Colheita	Transporte
Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra
Trator	Trator	Trator	Colhedora	Caminhão
Pulverizador	Sementes	Nitrogênio (cobertura) <sup>(1)</sup>	Trator <sup>(2)</sup>	-
Dessecante	Semeadora / Adubadora		Pulverizador <sup>(2)</sup>	-
Micronutriente (Boro) <sup>(1)</sup>	Adubação	Pulverizador	Dessecante <sup>(2)</sup>	-
	Nitrogênio (semeadura) <sup>(1)</sup>	Inseticida	-	-
Calagem	Fósforo	Herbicida	-	-
Trat. Sementes	Potássio	-	-	-
Inoculação <sup>(2)</sup>	-	Micro - Co e Mo <sup>(2)</sup>	-	-
Combustível	Combustível	Combustível	Combustível	Combustível
-	-	Fungicida	-	-

<sup>(1)</sup> Não-utilizado na cultura de soja. <sup>(2)</sup> Não-utilizado na cultura de girassol.

Para o cálculo da energia necessária na fabricação das máquinas e dos implementos, dos fertilizantes e agrotóxicos, bem como do valor energético do óleo diesel, adotaram-se os valores de Pimentel e Patzek (2005), que efetuaram uma ampla revisão da energia necessária para produção de cada unidade dos insumos empregados na produção.

Assumiu-se, de acordo com Brasil (1985), que uma pessoa depende 4.000 kcal em um dia de trabalho rural. O cálculo da depreciação de máquinas e equipamentos foi baseado em Pimentel e Pimentel (1996).

Knowles e Bukantis (1980) calcularam que são gastas 8,6 horas de mão-de-obra por hectare para a cultura de girassol e 7,1 horas de mão-de-obra por hectare para a cultura de soja, considerando todas as etapas de produção. Neste estudo assumiu-se o sistema de plantio direto da soja, que demanda 6,3 horas de mão-de-obra por hectare, segundo Roessing (2006 - informação verbal). A redução de 0,8 hora por hectare, que equivale a 11% do total, é referente à menor demanda de mão-de-obra no manejo do solo.

Nas condições norte-americanas, Knowles e Bukantis (1980) estimaram um

gasto de 180 e 38,8 litros de óleo diesel por hectare, para as culturas de girassol e soja, respectivamente. No Brasil, Roessing et al. (1981) estimaram um gasto de 54 litros de óleo diesel por hectare, para o girassol, no sistema de semeadura direta, e demonstraram que esse sistema economizou cerca de 70% de óleo diesel em relação ao sistema convencional. Para a soja, adotou-se o valor de 66 litros, conforme Roessing (2006 - informação verbal), referentes ao trator New Holland 135 TM, 93 kW Transmissão de 24 x 12 velocidades e tração auxiliar.

Castro e Oliveira (2005) consideram que para cada 1.000 kg de grãos de girassol são exportados 23 kg de nitrogênio, 12 kg de  $P_2O_5$  e 12 kg de  $K_2O$ . Considerando uma produtividade de 2.500 kg  $ha^{-1}$ , a exportação é de 57,5 kg  $ha^{-1}$  de N e de 30 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  e 30 kg  $ha^{-1}$   $K_2O$ . Para a cultura de soja, conforme Embrapa (2005), para cada 1.000 kg de grãos são exportados 20 kg de  $P_2O_5$  e 20 kg de  $K_2O$ . Considerando uma produtividade de 4.000 kg  $ha^{-1}$ , são exportados 80 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  e 80 kg  $ha^{-1}$   $K_2O$ . Para as estimativas de gastos energéticos consideraram-se os valores de N, P e K em suas fórmulas simples, assim para o girassol obtêm-se 57,5 kg de N,

13 kg de P e 25 kg de K e para a soja, 35,5 kg de P e 66,5 kg de K.

Blamey et al. (1997), citados por Pimentel e Patzek (2005), estimaram o uso de 1 t ha<sup>-1</sup> de calcário na cultura de girassol. Para a soja, foram adotadas 2 t ha<sup>-1</sup>, conforme Roessing (2006 - informação verbal).

Adubações de boro com 1 kg ha<sup>-1</sup>, em solos arenosos, e de 3 kg ha<sup>-1</sup>, em solos argilosos, têm sido consideradas como adequadas para eliminar as deficiências desse microelemento em cultivares sensíveis (BLAMEY et al., 1979, citados por CASTRO; OLIVEIRA, 2005).

Silveira et al. (2005) estimaram uma variação de 3,0 kg ha<sup>-1</sup> a 4,5 kg ha<sup>-1</sup> na quantidade de sementes de girassol. O cálculo de sementes para soja foi baseado na fórmula  $Q = (1000 \times P \times D) \times 1,1 (G \times E)^{-1}$ , em que P = 10,4g (peso de 100 sementes), D = 14 (número de plantas por metro), G = 80% (% de emergência em campo) e E = 0,4 m (espaçamento utilizado).

Para a estimativa de energia gasta para produzir sementes de girassol e soja usou-se a modelagem matemática  $S = ((T/P) \times Sha) \times 1,5$ , em que S = kcal de sementes ha<sup>-1</sup>, T = total de gastos energéticos na fase agrícola, P = produção em kg ha<sup>-1</sup>, Sha = quantidade de sementes ha<sup>-1</sup>, multiplicada por 1,5, considerando um gasto 50% maior para secagem da semente, limpeza, classificação e transporte. O cálculo para estimar a energia necessária foi feito iterativamente, até que não houvesse mais alteração no valor.

Blamey et al. (1997), citados por Pimentel e Patzek (2005), consideram um gasto de 3,0 kg ha<sup>-1</sup> de herbicida, valor confirmado por Brighenti (2006 - informação verbal), para girassol. O gasto com inseticida, em girassol, foi estimado em 1,0 kg ha<sup>-1</sup>, de acordo com Corso (2006 - informação verbal). Segundo Roessing (2006 - informação verbal), pode-se considerar, em média, o uso dos herbicidas Classic: 0,07 litro (soja) e Select 240: 0,40 litro, aplicados em pós-emergência. Em relação a

inseticidas, o mesmo autor propõe considerar a aplicação de Dimilin 0,03 litro, Baculovirus 1 dose (soja), Endossulfan 350 CE 1 litro.

Foram considerados os valores médios de 270 e 154 km, para o transporte do maquinário, do combustível, da semente e do escoamento da produção de girassol e soja, respectivamente, considerando as distâncias médias de lavouras brasileiras em relação aos centros de distribuição de insumos e de coleta da produção.

Os gastos no processamento industrial foram estimados segundo Pimentel e Patzek (2005), tendo sido calculados os gastos de energia para transformação do grão em óleo e para a posterior transformação do óleo em biodiesel.

A produtividade de soja foi estimada em 4.000 kg ha<sup>-1</sup> e do girassol em 2.500 kg ha<sup>-1</sup>, considerando um agricultor que utilizasse, integralmente, o sistema de produção que gerou os resultados de consumo de energia, sob condições climáticas adequadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na cultura do girassol, em média, para cada tonelada de grãos são produzidos 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta, (OLIVEIRA; VIEIRA, 2004). Sabe-se que 1 kg de óleo de girassol ou de soja contém 9.000 kcal de energia, em média.

De acordo com esses valores, são necessários 2,5 kg de grãos de girassol para produzir 1 kg de óleo. Para uma produtividade média de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de grãos obtêm-se 1.000 kg de óleo ha<sup>-1</sup>, com valor energético de 9.000 Mcal ha<sup>-1</sup>.

O Quadro 2 estima em 2.724 Mcal a energia (fóssil ou renovável) gasta para produzir 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de girassol.

Na cultura de soja, em média, para cada tonelada de grãos são produzidos 180 kg de óleo e 820 kg de torta, sendo a quantidade de

casca desprezível. Portanto, para produção de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, obtêm-se 720 kg de óleo ha<sup>-1</sup>, com valor energético de 6.480 Mcal ha<sup>-1</sup>.

Estima em 2.282 Mcal a energia (fóssil ou renovável) gasta para produzir 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de soja (Quadro 2).

Os resultados estimados de entradas na indústria de produção de biodiesel são demonstrados no Quadro 3, valores com base em dados de Pimentel e Patzek (2005), considerando haver diferença industrial marginal para processar 4.000 kg de soja e 2.500 kg de girassol (Quadro 3).

**Quadro 2** – Entradas e saídas de energia na produção de girassol e soja por hectare no Brasil  
**Table 2** – Energy inputs and outputs in sunflower and soybean production per hectare in Brazil

Fator	Girassol		Soja	
	Quantidade	Mcal	Quantidade	Mcal
Mão-de-obra	8,6 horas	4	6,3 horas	3
Maquinário	20 kg	360	20 kg	360
Combustível	54 litros	540	66 litros	660
Nitrogênio	57,5 kg	920	-	-
Fósforo	13 kg	52	35,5 kg	147
Potássio	25 kg	81	66,5 kg	209
Calcário	1.000 kg	281	2.000 kg	562
Boro	3 kg	11	1 kg	4
Sementes	4 kg	7	50 kg	43
Herbicidas	3 litros	300	0,47 litros	47
Inseticidas	1 litro	100	2,03 litros	203
Transporte	270 km	68	174 km	44
Grãos	2.500 kg	-	4.000 kg	-
Total de entradas	-	2.724	-	2.282
Saída	-	9.000	-	6.480

**Quadro 3** – Entradas de energia para produção industrial de 1.000 e 720 kg de biodiesel de girassol e soja, respectivamente

**Table 3** – Energy inputs for industrial production of 1.000 kg and 720 kg of sunflower and soybean biodiesel, respectively

Fator	Girassol		Soja	
	Quantidade	Mcal	Quantidade	Mcal
Eleticidade	270 kWh	697	194 kWh	500
Vapor	1.350.000 kcal	1350	972.000 kcal	972
Água de limpeza	160.000 kcal	160	115.000 kcal	115
Calor no espaço interno	97.000 kcal	152	109.000 kcal	109
Calor direto	280.000 kcal	440	317.000 kcal	317
Perdas	191.000 kcal	300	162.000 kcal	162
Aço Inoxidável	11kg	158	11 kg	158
Aço	21 kg	246	21 kg	246
Cimento	56 kg	106	56 kg	106
Total	-	3.609	-	2.685

O total estimado de energia fóssil gasta para produzir 1.000 kg de biodiesel de girassol e 720 kg de biodiesel de soja foi de 3.609 e 2.685 Mcal, respectivamente.

No Quadro 4, para o girassol, consideraram-se a produtividade de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> e as proporções de 40% de óleo, 35% de torta e 25% de casca, que, ao serem multiplicadas pelo poder calorífico de cada fração, resultam em 9.000, 4.000 e 4.000 kcal, respectivamente. Para a soja, adotou-se a produtividade de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, 18% de óleo e 82% de torta (Quadro 4).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se um saldo energético final positivo de 8.667 Mcal ha<sup>-1</sup> para girassol e 14.633 Mcal ha<sup>-1</sup> para soja. Isto significa que, na cultura do girassol, para cada unidade de energia que entra no sistema são produzidas 2,37 unidades de energia, sendo essa relação de 1:3,95 para a soja. Considerando a utilização da torta, a soja demonstra melhor desempenho energético, por apresentar maior produtividade; porém, analisando apenas a obtenção de óleo, o girassol mostra-se mais eficiente (2.667 Mcal ha<sup>-1</sup> x 1.513 Mcal ha<sup>-1</sup> da soja), por possuir maior teor de óleo no grão.

Pela análise do Quadro 2 verifica-se que para melhorar o balanço energético do girassol é necessário reduzir a demanda energética com a adubação nitrogenada, com o uso de máquinas, implementos e transporte e com herbicida. Para tanto, são necessários investimentos em pesquisa para descobrir microorganismos simbiotes com a propriedade de fixar N atmosférico, à semelhança do que ocorre com leguminosas e, em menor escala, com outras famílias de vegetais. Igualmente, é necessário racionalizar o uso de máquinas e implementos na produção do girassol, bem como desenvolver sistemas de controle de plantas daninhas (por exemplo, plantas transgênicas resistentes a determinados herbicidas), com menor demanda energética.

Em relação à soja, os itens de maior demanda energética referem-se às operações que envolvem maquinarias e transporte, além da correção do solo e nutrição da planta. Neste particular, pesquisas que redundam em menos operações com máquinas, ou o uso de máquinas e implementos mais eficientes, resultarão em ganhos energéticos. O desenvolvimento de plantas tolerantes à acidez do solo, com maior capacidade de extração e melhor aproveitamento de nutrientes, também melhorará o balanço energético da soja.

**Quadro 4** – Saídas de energia do sistema de produção  
**Table 4** – Energy outputs in the production system

Fator	Girassol		Soja	
	Quantidade	Mcal	Quantidade	Mcal
Casca	Incluído na torta	Incluído na torta	Desprezível	Desprezível
Óleo	1.000 kg	9.000	720 kg	6.480
Torta	1.500 kg	6.000	3.280 kg	13.120
Total	2.500 kg	15.000	4.000 kg	19.600
Entradas	Agrícola	2.724	Agrícola	2.282
	Industrial	3.609	Industrial	2.685
Total	-	6.333	-	4.967
Balanço Óleo	1.000 kg	2.667 (1: 1,42)	720 kg	1.513(1: 1,3)
Balanço Geral	-	8.667 (1: 2,37)	-	14.633 (1: 3,95)

Tanto para a soja quanto para o girassol, o aumento da produtividade por meio de cultivares, variedades e híbridos mais produtivos também irá melhorar o balanço energético.

A análise dos Quadros 2 e 3 indica que o maior gasto energético ocorre na fase industrial, requerendo investimentos no desenvolvimento de processos com menor demanda energética. Embora não redunde, necessariamente, em melhor balanço energético, as indústrias de processamento de grãos, extração de óleo e produção de biodiesel deverão utilizar, prioritariamente, fontes de energia renovável (lenha, carvão vegetal, biodiesel, energia solar e energia eólica), em substituição às fontes baseadas em carbono de origem fóssil, reduzindo, assim as emissões de gases de efeito estufa.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília: STI/CIT, 1985. p. 336. (Documentos, 16)
- CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 317-373.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja** - região central do Brasil 2006. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 220 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 9).
- KNOWLES, P. F.; BUKANTIS, R. Energy inputs and outputs for crop systems, field crops. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 131-132.
- MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil**. Disponível em: <[http://www.unica.com.br/i\\_pages/files/gee3.pdf](http://www.unica.com.br/i_pages/files/gee3.pdf)>. Acesso em: 5 jan. 2007.
- OLIVEIRA, M. F.; VIEIRA, O. V. **Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 27 p. (Documentos, 237).
- PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Nat. Res. Res.**, v. 14, n. 1, 2005.
- PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. **Food, energy and society**. Boulder: Colorado University Press, 1996. 363 p.
- ROESSING A. C.; MESQUITA, C. M.; GAZZIERO, D. L. P. Consumo de energia na produção de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1981. v. B. p. 561-572.
- SHEEHAN, J. et al. **Overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles**. [S.l.]: U.S. Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory, 1998.
- SILVEIRA, J. M. et al. Semeadura e manejo da cultura de girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 381 p.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis, a questão do balanço energético. **R. Política Agríc.**; v. 14, n. 5, p. 42-46, 2005.