



Balço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel

Canola energy balance for biodiesel production

Décio Luiz Gazzoni¹
José Luiz Bernardo Borges²
Márcio Turra de Ávila¹
Paulo Henrique Nardon Felici³

¹ Embrapa Soja – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
gazzonid@cnpso.embrapa.br
marcio@cnpso.embrapa.br

² UEL – Universidade Estadual de Londrina
borges-ji@hotmail.com/ borges@cnpso.embrapa.br

³ Bunge Alimentos S.A. – Sugar and Ethanol Division
paulo.felici@bunge.com

Abstract: Energy balance is the best parameter to define technical viability and sustainability of an agrienergy programme, 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 canola (*Brassica napus L.*) was calculated as well as the energy contents of canola oil and cake. We took into account the activities requesting energy expenditure in the cultivation, transport and canola processing. Considering meal utilization, it was concluded that for each input energy unit for canola, 2.9 energy units are produced, and considering only oil production this relationship decrease to 1:1.4.

Keywords: *Brassica napus L.*, biofuels, viability.

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 no sistema de produção de canola para fabricação de biodiesel e a energia contida no grão da cultura. Consideraram-se as atividades que requerem gasto de energia no cultivo, no transporte e no processamento da canola para produção de biodiesel. Concluiu-se que, para cada unidade de energia que entra no sistema de produção da canola, são produzidas 2,9 unidades de energia, e considerando somente a produção de óleo, esta relação cai para 1: 1,4.

Palavras-chave: *Brassica napus L.*, biocombustível, viabilidade.

1 Introdução

Diversas são as culturas produtoras de óleo para a produção de biodiesel. Algumas se mostram mais eficientes do que outras, devido a fatores como, por exemplo, maior densidade energética ou menor utilização de insumos durante seu cultivo. Um método para se avaliar a eficiência energética das culturas é através do balanço energético, que compreende a relação entre a energia investida na produção do biocombustível (input) e a energia obtida na sua combustão (output). De acordo com Almeida Neto et al [1], o balanço energético indica as viabilidades econômica e ambiental para cada tipo de cultura.

O balanço energético representa um componente essencial de vários tipos de avaliações ambientais, tais como balanço ecológico, ecoauditorias ou também em estimativas ecológicas ligadas a engenharias [2].

Tal balanço pode, portanto, ser uma ferramenta útil para otimizar a utilização de insumos para determinado cultivo, incluindo culturas de inverno como a canola (*Brassica napus L.*). Isto tem sido demonstrado em diversos estudos de caso [2] [3] [4]. Contudo, diferenças na escala, método e objetivos aplicados podem resultar em diferentes resultados entre os estudos.

Indicadores energéticos demonstram a eficiência produtiva de diversos sistemas, mas, também, permitem uma comparação de diferentes produtividades [5], e são, portanto, um adequado complemento de análises econômicas [6].

A canola (*Brassica napus L.*), no Brasil, está sujeita a restrições climáticas e apresenta alguns problemas na colheita. Ainda assim, pelo seu alto teor de óleo no grão (40% a 46%), é considerada uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel [10].

O processo de transesterificação do óleo de colza para produzir biodiesel é relativamente simples, envolvendo a reação do óleo com metanol para produzir o combustível, além do glicerol como subproduto. Biodiesel e glicerol formam duas camadas distintas permitindo a realização da decantação do biocombustível. [7].

O interesse em éster metílico de canola e demais combustíveis renováveis tem aumentado nos últimos tempos como resultado de preocupações ambientais relacionadas com a utilização de combustíveis fósseis e dos requisitos para a segurança energética nacional. Além do mais, o desenvolvimento de biocombustíveis pode estar ligado a vantagens socioeconômicas de geração de emprego e renda em zonas rurais depreciadas ou projetos ligados à política agrícola [8].

Tabela 1: Itens que requerem gasto de energia no cultivo de canola no Brasil.

Pré-semeadura	Semeadura	Manejo	Colheita	Transporte
Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra	Mão-de-obra
Trator	Trator	Trator	Colheita	Caminhão
Pulverização	Adubação	Adubação		
Dessecação		Controle de Insetos	-	-
		Pulverização	-	-

Assim sendo, o objetivo deste trabalho consistiu em realizar o balanço energético na cultura da canola para produção de biodiesel, considerando, nos cálculos, as atividades relacionadas à produção agrícola, transporte e processamento industrial.

2 Materiais e métodos

As atividades que exigem gasto energético (input) na produção agrícola e no transporte para a cultura de canola estão relacionadas aos itens descritos na Tabela 1.

Para o cálculo da energia gasta com a produção de fertilizantes e agrotóxicos, do valor energético do diesel consumido, da energia da semente e demais itens envolvidos nas fases agrícola e industrial, utilizaram-se os estudos de diversos autores, que fornecem a energia necessária para a produção de cada unidade de insumo empregado no cultivo da canola e posterior produção de biodiesel.

2.1 Mão-de-obra

Segundo Pimentel & Patzek [9], uma pessoa trabalha em média 2.000 horas por ano e seu gasto energético equivale a 8.000 litros de óleo diesel de petróleo.

Com base nesse dado, estimou-se o gasto energético com mão-de-obra.

Como em canola há um gasto de 0,56 horas/ha com mão-de-obra [10], e, segundo Pimentel & Patzek [9], 1 litro de óleo diesel possui equivalente energético de 11.400 kcal, tem-se um gasto energético de 25.400 kcal.

2.2 Maquinaria

O cálculo da depreciação, reparos e uso de óleos e graxas em máquinas e equipamentos teve como base o emprego de dois tratores pesando entre 6 e 7 toneladas, e colhedoras de 8 a 10 toneladas, além de pulverizadores, semeadoras e demais equipamentos. Foi considerado para tais cálculos, de acordo com estudo de Leach [11], 40% do equivalente energético do consumo de combustível total.

2.3 Combustível

Em termos de combustível, em canola são necessários 64 litros.ha⁻¹ [11] para a realização das operações básicas de manejo no campo. Como, 1 l de óleo diesel equivale a 11.400 kcal de energia [9], os gastos equivalem, portanto, a uma entrada de energia de 729.600 kcal [11].

2.4 Fertilizantes

A adubação considerada foi de 60 kg nitrogênio (N) [13], dividido em 20 kg na semeadura e 40 kg em cobertura, sendo que para a produção de cada quilograma de N, são gastas cerca 16.000 kcal de energia [9].

São aplicados ainda 60 kg/ha de fósforo (P) e 30 kg/ha de potássio (K) [13], apresentando 4.154 e 3.260 Kcal de energia consumidas, respectivamente, para produzir 1 quilograma desses nutrientes [9]. A produtividade esperada para essas condições é de 2.200 kg.ha⁻¹.

2.5 Sementes

A canola foi semeada, segundo Tomm [13], utilizando-se 4 kg de sementes por hectare.

Para a estimativa de energia gasta para produzir sementes de canola, foi utilizada a modelagem matemática desenvolvida por Gazzoni et al. [14], onde $S = ((T/P) \times Sha) \times 1,5$, em que $S =$ kcal/sementes ha⁻¹, $T =$ total de gastos energéticos na fase agrícola (Kcal), $P =$ produção em kg.ha⁻¹ e $Sha =$ quantidade de sementes em kg.ha⁻¹, considerando-se ainda um gasto 50% maior para secagem da semente, limpeza, classificação e transporte.

2.6 Herbicidas e inseticidas

O principal herbicida utilizado foi o glifosato, para o controle das principais ervas daninhas que infestam a cultura da canola, na dosagem de 2 litros.ha⁻¹ do produto comercial (densidade = 0,5g.cm⁻³) [13].

Quanto ao inseticida, considerou-se o Metamidofós (densidade = 1,18g.cm⁻³), na dosagem de 2,5 litros. ha⁻¹, visando o combate dos principais insetos-praga que atacam a cultura, como a vaquinha, os pulgões e lagartas desfolhadoras [15]. Foi empregado para ambos o valor energético descrito por Pimentel e Patzek [9], de 100.000 Kcal para a produção de 1 Kg de herbicidas e inseticidas.

2.7 Transporte

Assumiu-se o valor de 20 km como a distância média que um caminhão percorre para transportar a canola colhida até a unidade processadora.

No cálculo do gasto energético durante o transporte dos grãos até a indústria, considerou-se a utilização de um caminhão com capacidade de carga de 20 toneladas, possuindo autonomia de 3 km com 1 l de óleo diesel quando vazio, e 1,5 km com 1 l se completamente carregado. Desta maneira, foi calculada a

demanda por energia no transporte de 20.000 kg de grãos, em um percurso de 40 km (ida e volta da propriedade rural até a indústria).

2.8 Gastos no processamento industrial

Os gastos no processamento industrial referem-se à produção de uma tonelada de biodiesel de canola, envolvendo a transformação do grão em óleo e, posteriormente, do óleo em biodiesel. Tais cálculos foram baseados nos dados de extração e refino de óleo bruto de canola [8] e nos valores propostos por Janulis [16] para o processo de transesterificação do óleo vegetal, no qual a rota metilílica foi a empregada.

2.9 Saídas de energia

O total de energia fornecida pela cultura da canola foi calculado através da soma do equivalente energético dos produtos e subprodutos resultantes do processamento industrial da oleaginosa.

O principal deles é o óleo, que é transformado em biodiesel. Posteriormente, como subproduto da prensagem dos grãos de canola, resulta a torta, podendo ser empregada para suplementação animal, e por último, a glicerina, um co-produto resultante da reação de transesterificação. Sendo que 1 quilograma de óleo de canola possui equivalente energético de 9.000 Mcal [9], a torta apresenta 5.800 Mcal/Kg de matéria seca [8], e o valor da energia térmica do glicerol produzido a partir de óleo refinado durante a transesterificação foi calculado a partir dos dados fornecidos por Booth et al. [17].

2.10 Balanço energético (B.E.)

Os fluxos de energia estão apresentados sob a forma de taxa de energia líquida, e o balanço energético final foi calculado dividindo-se o total de energia obtida, incluindo a do óleo da canola e dos seus subprodutos, pela energia aplicada em todo o processo produtivo, desde o campo até a transformação final na indústria. A equação (1) foi adaptada de Macedo et al., [18].

$$B. E. Final = \frac{\sum \text{Energia fornecida (Mcal)}}{\sum \text{Energia fóssil gasta (Mcal)}} \quad (1)$$

3 Resultados e discussão

Em média, para cada tonelada de grãos produzidos, são obtidos 400 kg de óleo e 600 kg de torta [13]. Foi considerado para os cálculos que 1 kg de óleo de canola contém 9.000 kcal de energia [16].

De acordo com esses valores, são necessários 2,5 kg de grãos de canola para se produzir 1 kg de óleo. Sua produtividade média de 2200 kg.ha⁻¹ de grãos, oferece 880 kg de óleo.ha⁻¹, com valor energético de 7.920 Mcal.ha⁻¹.

Tabela 2: Entradas de energia na produção de canola por hectare no Brasil.

Fator	Quantidade	1000 kcal
Mão-de-obra	0,56 h	23
Maquinário	8,4 kg	256
Combustível	64 l	640
Nitrogênio	60 kg	960
Fósforo	60 kg	249
Potássio	30 kg	98
Sementes	4 kg	18
Herbicida	1 kg	100
Inseticida	3 kg	300
Transporte	40 km	228
Gastos agrícolas totais		2.872
Gastos Industriais		-
Extração do óleo		555
Refino		581
Transesterificação		1.506
Gastos industriais totais		2.642
Total de entrada	-	5.514

Conforme apresentado na Tabela 2, a estimativa da energia fóssil gasta durante as operações agrícolas para produzir 2.200 kg.ha⁻¹ de canola foi de 2.872 Mcal. E a quantidade de energia fóssil, gasta durante o processamento industrial, para produzir 1 tonelada de biodiesel de canola foi de 2.642 Mcal, totalizando 5.514 Mcal de entrada de energia no sistema. Resultado semelhante foi alcançado por Hulsbergen et al [19], onde os autores relataram um emprego de energia total de 4.952 Mcal/ha como entrada de energia no sistema produtivo de canola e posterior produção de biodiesel.

Já Batchelor et al [8], nas condições escocesas de cultivo, onde a canola é a principal matéria-prima para produção de biodiesel, obtiveram um resultado levemente superior, de 6.843 Mcal.ha⁻¹ como entrada total de energia, considerando para os seus cálculos, condições ideais de cultivo para a canola na região.

Por outro lado, Rathke e Diepenbrock [3] apresentaram um valor significativamente inferior ao deste trabalho, encontrando 3.842 Mcal.ha⁻¹ como sendo o valor máximo de energia gasta no sistema, considerando em seus estudos diferentes tipos de rotação de cultura e taxas de aplicação de fertilizantes.

Tais diferenças ocorrem devido a fatores como distinção no manejo da cultura por produtores de diferentes localidades, diferentes entradas de energia no processamento industrial, além de diferenças de escala, métodos e objetivos intrínsecos a cada estudo.

No caso dos valores relacionados aos fertilizantes apresentados na Tabela 2, os equivalentes energéticos utilizados foram os obtidos por Pimentel & Patzek [9], em que o

consumo total com fertilizantes nesse estudo foi de 1.307 Mcal ha⁻¹, enquanto Chastain [12] estimou um gasto médio de 1.303 Mcal.ha⁻¹ e Batchelor et al [8] consumiram 2098 Mcal.ha⁻¹ de energia com fertilizantes. Essas variações devem-se, provavelmente, às diferentes formas de produção do adubo, e quantidades distintas aplicadas em cada caso, mas por não representarem grandes variações, consideraram-se, nesse estudo, os valores descritos no item 2.5.

Nota-se ainda na Tabela 2 que os fatores que contribuem de maneira negativa com mais de 25% na energia empregada na fase agrícola da produção de canola são o nitrogênio, que responde por 16,5% do total, e o óleo diesel que é responsável por, aproximadamente, 12% do consumo energético integral.

Este resultado implica, por parte dos produtores, num remanejamento das práticas culturais, onde se torna necessária a rotação de culturas com alguma espécie que fixe grande quantidade de N atmosférico, deixando um bom residual do mesmo no solo que irá receber a canola no inverno.

E do mesmo modo, exige-se, por parte do governo, que reveja as taxas e impostos que incidem sobre o óleo diesel no Brasil, visando beneficiar os agricultores ou ainda incentivar cada vez mais a produção e utilização de fontes alternativas de combustíveis, tais como o biodiesel e o etanol.

No cálculo da Tabela 3, considerou-se a produtividade de 2.200 kg.ha⁻¹, obtendo-se 40% de óleo, 60% de torta e poder calorífico de 9.000 kcal.l⁻¹ para o óleo [9], 5.800 kcal.kg⁻¹ para a torta [16] e 4.000 kcal.kg⁻¹ para a glicerina [17], totalizando 15.976 Mcal de energia obtida com o cultivo de 1 ha de canola.

Batchelor et al [8] obtiveram resultado similar, considerando também em seus cálculos a energia fornecida pelo óleo, pela torta e pela glicerina, onde a canola proporcionou um total de 17.000 Mcal de energia por ha.

Tabela 3: Saídas de energia do sistema de produção.

Balanço Energético Final		
Fatores	Quantidade	1000.kcal
Casca	Desprezível	Desprezível
Óleo	880 kg	7.920
Torta	1.320 kg	7.656
Glicerina	100	400
Total	2.200 kg	15.976
Entradas	Agrícola	2.872
	Industrial	2.642
Total		5.514
Balanço óleo	-	1: 1,4
Balanço final	-	1: 2,9

Ao compararmos dados de diferentes autores, tendo em vista o balanço energético para a produção de biodiesel, e como fonte de matéria-prima diversas culturas com potencialidades regionais para a produção de biocombustível, nota-se, de acordo com a Tabela 4, que a canola encontra-se em uma posição mais favorável que outras oleaginosas, tais como a

mamona e o girassol. A Tabela 4 apresenta uma relação de dados referentes a entrada e saída de energia no sistema produtivo de diferentes matérias-primas para a produção de biodiesel. Além disso, pode-se observar também o resultado do estudo desenvolvido por Pimentel & Patzek [9] envolvendo biocombustíveis nos Estados Unidos, o qual apontou um B.E. negativo. Nesse caso, os autores encontraram um B.E. negativo de 1.467 kcal. Segundo seus cálculos, são necessárias, aproximadamente, 6.597 kcal de energia fóssil para produzir 1 litro de etanol do milho, entretanto, 1 litro de etanol apresenta valor energético de 5.130 kcal.

Tabela 4: Comparação do balanço energético do dendezeiro com demais culturas empregadas para produção de biodiesel.

Culturas	Valor energético (Mcal.ha ⁻¹)		Balanço Energético
	Entrada	Saída	
Dendê	10.200	87.670	1: 4,6 ²⁰
Soja	4.967	19.600	1: 3,95 ¹⁴
Girassol	6.333	15.00	1: 2,37 ¹⁴
Canola	4.874	13.200	1: 2,9 ¹
Mamona	15.626	28.892	1: 1,85 ¹
Etanol (Milho, EUA)	6.597	5.130	1: 0,77 ⁹

²⁰Gazzoni et al, (2008); ²⁰Gazzoni et al., (2005); ¹Tabela 3; ¹Almeida Neto et al., (2004); ⁹Pimentel & Patzek, (2005).

4 Conclusões

Verifica-se um balanço energético positivo para a canola, nas condições brasileiras, visto que, para cada 1 (uma) unidade de energia que entra no sistema, outras 2,90 unidades de energia são produzidas.

5 Referências

- [1] ALMEIDA NETO, J. A. de; CRUZ, R. S. da; ALVES, J. M.; PIRES, M. de M.; ROBRA, S.; PARENTE JUNIOR, E. 2006. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, Campina Grande. Disponível em: <http://www.redebaianadebiocombustiveis.br.gov.br/arq_uivo/165.pdf> Acessado em 17 de julho de 2006.
- [2] JORGENSEN, R. N.; JORGENSEN, B. J.; 1997. N₂O emission from *Miscanthus*, rye and oilseed rape in relation to the net CO₂-displacement. In: Worgetter, M., Jorgensen, U. (Eds.), Environmental Aspects of Energy Crop Production. **Proceedings of the IEA Workshop**. Brassimone, Italy, Report from BLT.



- [3] RATHKE, G. W.; DIEPENBROCK, W. Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. **European Journal of Agronomy**. n. 24, p. 35–44. 2006.
- [4] BUGGE, J. **Note**: Rape seed oil for transport 1: energy balance and CO₂ balance based on EMBIO, the Danish Energy Agency's model for economic and environmental assessment of biofuels. Folkecenter for Renewable Energy. Danish Center for Plant Oil Technology. 2001.
- [5] HACISEFEROGULLARI, H.; ACAROGLU, M.; GEZER, I. Determination of the energy balance of the sugar beet plant. **Energy Source**. v. 1, n. 25, p. 15–22. 2003.
- [6] JONES, M. R. Analysis of the use of energy in agriculture approaches and problems. **Agricultural Systems**. n. 29, p. 339–355. 1989.
- [7] STOUT, B. A. **The Handbook of Energy for World Agriculture**. Elsevier, Amsterdam. 1990.
- [8] BATCHELOR, S. E.; BOOTH, E. J.; WALKER, K. C. Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape. **Industrial Crops and Products**. n. 4, p. 193-202. 1995.
- [9] PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**. v. 14. n. 1, p. 65-76. 2005.
- [10] TOMM, G. O. **Canola: aspectos fundamentais para o sucesso da cultura**. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 4 p. 1999.
- [11] LEACH, G. Energy and Food Production. International Institute for Environment and Development, London. 1975.
- [12] CHASTAIN, T. 2006. **Canola: a biodiesel crop for Oregon**: OSU, Oregon State University, Department of Crop and Soil Science, Canadá. Unpublished Paper. Disponível em : <<http://www.biofuels4oregon.com/presentations/tom%20chastian.pdf>>. Acessado em 17 de julho de 2006.
- [13] TOMM, G. O. **Tecnologia para cultivo de canola no Sudoeste de Goiás**. [S.l.]: Caramuru. 34 p. 2003.
- [14] GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S.; RALISCH, R. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 4, p. 259-265. 2005.
- [15] DOMICIANO, N. L.; SANTOS, B. **Pragas da canola: Bases preliminares para manejo no Paraná**. Londrina: IAPAR, 16 p. 1996. (IAPAR, informe de pesquisa, 120).
- [16] JANULIS, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. **Renewable Energy**. n. 29, p. 861-871. 2004.
- [17] BOOTH, E.; COOK, I.; ENTWISTLE, G.; STOTT, A.; WALKER, K. **Oilseed rape processing in Scotland. The options for unconventional rape products**. Econ. Rep., 41, Scottish Agroculural College, Aberdeen, 1993.
- [18] 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**. n. 32, p. 582–595, 2008.
- [19] HULSBERGEN, K. J.; FEIL, B.; BIERMANN, S.; RATHKE, G.-W.; KALK, W.-D.; DIEPENBROCK, W. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. **Agricultural Ecosystems Environmental**. n. 86, p. 303–321. 2001.
- [20] GAZZONI, D. L.; BORGES, J. L. B.; ÁVILA, M. T.; FELICI, P. H. N.; RALISCH, R. Balanço energético do Biodiesel de Dendê. In: Congresso Brasileiro de Agroenergia e Simpósio Internacional de Biocombustível, 1, 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2008. 1 CD-ROM.