

Balanco energético da cultura nabo forrageiro visando à produção de biodiesel

Luis Felipe Lima e Silva, Wilson Magela Gonçalves, Wilson Roberto Maluf, Luciane Vilela Resende, Douglas Correa de Souza

Universidade Federal de Lavras, *Campus* Universitário Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil. E-mails: luisufla@hotmail.com, magela@dag.ufla.br, wrmaluf@dag.ufla.br, luciane.vilela@dag.ufla.br, douglascorrea@ymail.com

Resumo: Devido ao aumento da preocupação mundial com a obtenção de novas fontes renováveis de combustíveis, surgiu a necessidade de se avaliar a viabilidade dos diferentes tipos de produção. Para isso, uma ferramenta bastante utilizada é o balanço energético, que consiste da relação entre a energia e os custos investidos na produção do combustível (*inputs*), e a energia relacionada aos rendimentos produzidos do potencial energético (*outputs*). Existem diferentes culturas consideradas potenciais para a produção de biodiesel no Brasil, entre elas, o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Com isso, o objetivo foi estimar o balanço energético para a cultura do nabo forrageiro. A energia fóssil despendida na produção de 540 kg de óleo de nabo forrageiro por hectare foi de 22127,43 MJ, a partir da produção de 1.200 kg.ha⁻¹ de grãos (45% de óleo e 55% de torta), resultando em valor do balanço energético de 1,61. Os resultados indicam que é viável a produção do biocombustível a partir da respectiva cultura, mas demonstram também necessidade de aperfeiçoamento das tecnologias empregadas para que se aumente a eficiência energética.

Palavras chave: *Raphanus sativus* L., Biocombustível, Sustentabilidade energética.

Energetic balance of biodiesel production based on oilseed rape crop

Abstract: Due to the increasing global concern about obtaining new renewable sources of fuel, it's primordial to assess the feasibility of different production systems. In this context, a widely used tool is the energy balance, which consists of the relationship between energy and the costs invested in fuel production, and energy related to outputs. There are different crops considered as potential for the production of biodiesel in Brazil, among them, the oilseed radish crop (*Raphanus sativus* L.). Thus, the objective was to estimate the energy balance for the oilseed radish crop. Fossil energy expended in the production of 540 kg oilseed radish crop oil per hectare was 22127.43 MJ, obtained from grain yield of 1200 kg.ha⁻¹ for oilseed radish crop (45% oil, 55% meal), resulting in energy balance values for biodiesel production of 1.61. The indices obtained indicate that it is feasible to produce biofuels from respective crop, but also demonstrate that investment in improved technologies may be necessary if this crop is to be considered competitive with other feedstocks.

Key words: *Raphanus sativus* L., Biofuel, Energy sustainability.

Introdução

Com a crescente produção de biodiesel no mundo nas últimas décadas, a tendência é de que os biocombustíveis substituam gradualmente os combustíveis fósseis (Garcez, Vianna, 2009 & Silva et al., 2017), entretanto, as principais matrizes energéticas mundiais são compostas de fontes não renováveis de carbono fóssil, como petróleo (35%), carvão (23%) e gás natural (21%), existindo grande possibilidade de escassez dessas fontes nas próximas décadas (Souza, 2008).

O Brasil possui grande potencial para a produção de biocombustíveis, pois apresenta uma grande diversidade de espécies agrícolas com potencial para essa finalidade, como também possui grande disponibilidade de mão de obra e terras, o que aponta o país como potência para se inserir em uma boa posição no mercado internacional do agronegócio da produção de combustíveis renováveis. Entretanto, a despeito do otimismo envolvido, com frequência a quantidade de energia investida num sistema produtivo tem sido maior do que o retorno conseguido em valor energético dos produtos, proporcionando um balanço negativo, o que compromete assim a sustentabilidade do sistema (Pimentel & Patzek, 2005). Por isso, vários estudos têm sido elaborados com objetivo de avaliar a eficiência das novas fontes de energia renovável, para que seja possível verificar a viabilidade econômica e energética da produção do biocombustível (Maia et al., 2013), utilizando como instrumento o balanço energético, que é definido por Campos e Campos (2004) como a razão entre a energia produzida por unidade de área (produção/ha) e a energia consumida por unidade de área (insumo/ha). O balanço energético apresenta indicadores importantes da viabilidade energética e ambiental para a produção do biodiesel, sendo possível conhecer os principais fatores que limitam a eficiência produtiva de biodiesel produzido utilizando esta cultura como matéria prima.

Embora a principal cultura utilizada nos últimos anos para a obtenção de biodiesel no Brasil seja a soja (Kohlhepp, 2010), outras podem ser consideradas com potencial para esta finalidade no país, tal como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). As sementes desta cultura são constituídas por alto teor de óleo (40% a

56%). Seu óleo pode ser extraído pelo sistema de prensagem a frio com eficiência, e, por isso, o nabo forrageiro é apontado como interessante matéria-prima para a produção de biodiesel, além de que, possui baixo custo de produção (Domingos et al., 2008 & Valle, 2009). Apesar de apresentar boa perspectiva para a produção de biodiesel, são escassos os trabalhos que indiquem a viabilidade da produção de biodiesel por meio da cultura do nabo forrageiro.

Com isso, o objetivo foi estimar o balanço energético para a cultura do nabo forrageiro, visando à produção de biodiesel, inserida em sua respectiva cadeia produtiva.

Material e métodos

Para os cálculos de balanço energético da produção de biodiesel a partir do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), as diversas atividades empregadas no sistema produtivo da cultura foram divididas em fases agrícola e industrial. Na fase agrícola, foram estimados todos os insumos utilizados, bem como as operações mecanizadas e as operações manuais investidas (Tabela 1), de acordo com as recomendações técnicas de manejo para a cultura (Batchelor et al. 1995, Brasi et al., 2008, Dambiski, 2007 & Garavand et al., 2010).

As produtividades desta fase foram obtidas por meio de experimento conduzido em campo. O experimento foi conduzido em propriedade rural no município de Itumirim-MG (latitude 21°16'35"S, longitude 44°49'34"W), no período de 2009 a 2010, em delineamento de blocos casualizados, com 5 parcelas de 0,2 ha cada, em 5 repetições, considerando o conjunto de plantas da parte central de cada parcela como um tratamento, visando assim realizar um ensaio produtivo da cultura sob as condições e tecnologias locais aplicadas. Foram semeadas em média 7 kg de sementes por ha. Foram aplicados 100 kg do formulado N-P-K (4-30-16) para a nutrição das plantas. Não foram necessárias as operações de pulverização de herbicida e aplicação de inseticidas durante a condução da cultura. Os gastos consumidos nas operações foram estimados considerando-se a energia direta (combustíveis, óleos e graxas) e a energia indireta (máquinas e implementos) investidas no processo produtivo da cultura (Pimentel, 1980).

Tabela 1 - *Inputs* e *outputs* referentes ao processo produtivo de biodiesel de nabo forrageiro e seus correspondentes energéticos.

Fase agrícola	Unidade	Equivalente (MJ)
Mecanização:		
Aração	hectare	171,49
Gradagem	hectare	38,05
Semeadura	hectare	93,02
Adubação	hora/máquina	950,01
Colheita	hora/máquina	783,48
Transporte	hora/máquina	5,53
Mão de obra*	l diesel	47,73
Insumos:		
Nitrogênio	kg	66,99
Fósforo	kg	17,39
Potássio	kg	13,65
Sementes	kg	90,85
Óleo diesel	l	47,73
Fase Industrial:		
Extração	kcal	2323,67
Refino	kcal	2432,53
Transesterificação	kcal	6305,32
Rendimentos		
Óleo	kcal/kg	39,9
Torta	kcal/kg	21,2

*Para a mão de obra foi considerado que 2000 horas de trabalho equivalem a 8000 litros de óleo diesel (Pimentel & Patzek, 2005).

Na fase industrial, foram contabilizadas as operações de extração do óleo, refino e transesterificação para obtenção do biodiesel, obtendo-se os rendimentos estimados em forma de torta e óleo, aos quais os custos totais energéticos investidos na produção foram então relacionados. Para as operações de refino e transesterificação, foram considerados os dados de Batchelor et al. (1995). Nesta fase, foram considerados os rendimentos obtidos através da torta e do óleo.

Para a estimativa do balanço energético, foram considerados todos os *inputs* investidos no processo de produção dos grãos e do óleo: operações mecanizadas, mão de obra, insumos e fase industrial. Os *outputs* considerados foram aqueles relativos à quantidade de energia proveniente dos produtos produzidos. A eficiência energética foi calculada pela relação energia produzida (*outputs*) e consumida (*inputs*). Os *inputs* e *outputs* energéticos foram então relacionados aos seus respectivos correspondentes energéticos, obtendo-se assim o total de energia consumida em cada processo e o

total do rendimento em energia obtido com o óleo e a torta produzidos. Após o cálculo do total de energia consumida e produzida, foi possível estimar o balanço energético.

A fim de se complementar as informações sobre o potencial da cultura do nabo forrageiro na região, foi realizada a estimativa dos custos de produção da fase agrícola e dos rendimentos em grãos por hectare, de acordo com os correspondentes monetários relativos ao preço de mercado da região de Lavras-MG referentes ao ano de 2011.

Resultados e discussão

O total estimado de energia fóssil inserida na produção de 540 kg de óleo de nabo forrageiro por hectare foi de 22127,43 MJ (Tabela 2), considerando-se que a produção foi de 1.200 kg.ha⁻¹ (sendo em média 45% de óleo e 55% de torta).

Tabela 2 - Balanço energético para a produção de biodiesel a partir de nabo forrageiro na região de Itumirim, Minas Gerais, Brasil, 2011.

Fase Agrícola	Consumo	Total MJ	%
Aração	1 ha	171,49	0,77
Gradagem	1 ha	38,05	0,17
Adubação	0,12 h/m	114	0,52
Semeadura	1 ha	93,02	0,42
Colheita	1 h/m	783,48	3,54
Transporte	0,5 h/m	2,77	0,01
<i>Total</i>	-	1202,8	5,44
Mão de obra:			
<i>Total</i>	139,2 l	6643,95	30,03
Insumos:			
Nitrogênio	4 kg	267,96	1,21
Fósforo	30 kg	521,76	2,36
Potássio	16 kg	218,38	0,99
Sementes	7 kg	635,97	2,87
<i>Total</i>	-	1644,07	7,43
Óleo diesel/litros			
<i>Total</i>	33	1575,07	7,12
Total Etapa Agrícola	-	11065,9	50,01
Fase Industrial	Consumo	Total MJ	%
Extração	1	2323,67	10,50
Refino	1	2432,53	10,99
Transesterificação	1	6305,32	28,50
<i>Total</i>	-	11061,53	49,99
Inputs totais			
Agrícola + Industrial	-	22127,43	100
Rendimentos			
Óleo	540 kg	21543,85	-
Torta	660 kg	13993,29	-
<i>Energia produzida</i>	-	35537,14	-
Balanço Energético		1,61	

O valor do balanço energético estimado para a produção de biodiesel a partir da cultura de nabo forrageiro foi de 1,61. Isto significa que para cada 1 MJ de energia investida em cada sistema de produção de biodiesel, produz-se 1,61 MJ com a cultura do nabo forrageiro. Este rendimento energético foi estimado a partir da energia total produzida, contabilizada 35537,14 MJ.ha⁻¹, considerando-se os valores para o óleo e torta produzidos.

A fase agrícola representou em média 50% da energia total investida no processo produtivo. Vale ressaltar que não foram necessárias as operações de pulverização de herbicida e inseticida durante a condução da cultura. Os insumos representaram somente 7,43% da energia total investida. A mão de obra, óleo diesel e operações mecanizadas representaram 30,03%, 7,12% e 5,44% respectivamente. A

parcela da energia investida na etapa industrial representou aproximadamente 50% da energia total investida no processo produtivo.

Apesar de se apresentar uma atividade rentável energeticamente, a viabilidade da produção de biodiesel de nabo forrageiro é discutível quando o índice de 1,61 obtido para o balanço energético, apesar de representar relevante rendimento, é comparado aos índices energéticos obtidos por outros trabalhos já realizados com a mesma cultura, e também em trabalhos realizados com a soja, cultura considerada piloto na produção de biodiesel no Brasil (Soares et al. 2008). Siqueira et al. (1999) obteve um índice de 2,08 para o balanço energético a partir da produtividade de 700 kg.ha⁻¹ de grãos da cultura do nabo forrageiro, levando-se em conta somente os valores obtidos através do óleo produzido. Para a cultura da soja,

Gazzoni et al. (2005) obtiveram um índice de balanço energético de 4,75 para uma produtividade de 4.000 kg.ha⁻¹ considerando-se os rendimentos em energia através do óleo e da torta produzidos.

No geral, a produtividade obtida neste trabalho com a cultura é considerada médio-baixa. Aumentar a produtividade seria uma boa alternativa para aumentar a energia e os rendimentos produzidos pelo sistema. Na literatura há relatos de que a cultura do nabo forrageiro, conduzido sob diferentes manejos, alcançou índice máximo de produtividade de 3.165 kg.ha⁻¹ (Öztürk, 2010), bastante superior a

produtividade de 1200 kg.ha⁻¹ obtida neste trabalho.

De acordo com as tecnologias adotadas, os maiores custos monetários para a fase agrícola de produção de grãos do nabo forrageiro foram referentes às operações mecanizadas, que representaram 49,81% dos custos totais investidos no sistema de produção. Os insumos representaram 30,01%, e a mão de obra 20,19% do investimento monetário total nesse sistema produtivo. O custo monetário total na fase agrícola de produção de um hectare desta cultura foi aproximadamente de aproximadamente de R\$ 646,00 (Tabela 3).

Tabela 3 - Balanço econômico da fase agrícola para produção de 1200 kg.ha⁻¹ de grãos de nabo forrageiro na região de Itumirim/Lavras, Minas Gerais, Brasil, 2011.

	Quantidade	Valor/Unidade	Total	Porcentagem
Fase agrícola	Hora/máquina	R\$	R\$	%
Mecanização:				
Aração	1	50,00	50,00	7,73
Gradagem	2	50,00	100,00	15,47
Semeadura	1	50,00	50,00	7,73
fertilizantes	0,12	50,00	6,00	0,93
Colheita	1	100,00	100,00	15,47
Transporte	0,5	32,00	16,00	2,47
<i>Total</i>	-	-	322,00	49,81
Mão de obra	Hora/homem			
<i>Total</i>	34,8	3,75	130,5	20,19
Insumos:				
4-30-16	100 kg	1,19	119,00	18,41
Sementes	7 kg	1,30	9,00	1,39
Diesel	33 l	2,00	66,00	10,21
<i>Total</i>	-	-	194,00	30,01
Custo total			646,5	100
Rendimentos (kg grãos)	1200	1,20	1440	-
Balanço econômico	-	-	2,23	-

Em contrapartida, os rendimentos monetários para a cultura, considerando-se os grãos produzidos e seu valor comercial no mercado regional em 2011, foram aproximadamente de R\$ 1.440,00. O retorno positivo para o balanço econômico da fase agrícola de produção do nabo forrageiro indica que esta cultura apresenta certo potencial econômico para a produção de grãos na região. Entretanto, como a análise dos custos teve como fundamento as condições demandadas para esta pesquisa, existe necessidade de novos trabalhos que investiguem a viabilidade econômica da produção de grãos de nabo forrageiro para as

mais diversas finalidades, inclusive para a produção de biodiesel, nas mais diversas situações produtivas.

Os resultados indicam a viabilidade econômica e energética da produção de biocombustível a partir do nabo forrageiro com os níveis de produtividade obtidos (1.200 kg de grãos por hectare).

Conclusão

A cultura do nabo forrageiro apresenta viabilidade para a produção de biodiesel.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais [FAPEMIG] pela concessão do investimento monetário. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [CNPq], Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação [MCTIC] pelo financiamento do projeto. À Universidade Federal de Lavras [UFLA] pela tecnologia disponibilizada. À empresa Hortiagro Sementes S.A. pela infraestrutura disponibilizada.

Referências

- Batchelor, S.E., Booth, E.J., & Walker, K.C. (1995). Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape. *Industrial Crops and Products*, Elsevier, 4 (3), 193-202.
- Brasi, L.A.C.S., Denucci, S., & Portas, A. A. (2008). *Nabo - adubo verde, forragem e bioenergia*. Infobibos. Recuperado em 12 janeiro, 2018, de http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/nabo/index.htm.
- Campos, A.T., & Campos, A.T.D. (2004). Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural*, Santa Maria, 34 (6), 1977-1985.
- Dambiski, L. (2007). *Síntese de Biodiesel de Óleo de Nabo Forrageiro Empregando Metanol Supercrítico* (94f). Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- Domingos, A.K., SAAD, E.B., Wilhelm, H.M., & Ramos, L.P. (2008). Optimization of the ethanolysis of *Raphanus sativus* (L. Var.) crude oil applying the response surface methodology. *Bioresource Technology*, Elsevier, 99 (6), 1837–1845.
- Garavand, A.T., Asakereh, A., & Haghani, K. (2010). Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. *International Journal of Environmental Sciences*, Integrated Publishing services, 1 (2), 236-242.
- Garcez, C.A.G., & Vianna, J.N.D.S. (2009). Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. *Energy*, Elsevier, 34 (5), 645–654.
- Gazzoni, D.L., Felici, P.H.N, Coronato, R.M.S., & Ralisch, R. (2005). Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. *Biomassa & Energia*, Brasília, 2 (4), 259-265.
- Kohlhepp, G. (2010). Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estudos Avançados*, São Paulo, 24 (68), 223-253.
- Maia, J., Urquiaga, S., Jantalia, C.P., Soares, L.H.B., Alves, B.J.R., Boddey, R.M., Marchão, R.L., & Vilela, L. (2013). Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 48 (10), 1323-1331.
- Öztürk, Ö. (2010). Effects of Source and Rate of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Quality of Winter Rapeseed. *Chilean Journal of Agricultural Research*, Chillán, 70 (1), 132-141.
- Pimentel, D. (1980). *Handbook of energy utilization in agriculture* (475p). Boca Raton: CRC Press.
- Pimentel, D., & Patzek, T.W. (2005). Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*, Springer, 14 (1), 65-76.
- Silva, L.F.L., Gonçalves, W.M., Maluf, W.R., Resende, L.V., Sarmiento, C.M., Licursi, V., & Moretto, P. (2017). Energy balance of biodiesel production from canola. *Ciência Rural*, Santa Maria, 47 (02), 1-5.
- Siqueira, R., Gamero, C.A., & Boller, W. (1999). Balanço de Energia na Implantação e Manejo de Plantas de Cobertura do Solo. *Engenharia Agrícola*, Botucatu, 19 (1), 80-89.

Soares, L.H.B., Muniz, L.C., Figueiredo, R.S., Alves, B.J.R., Boddey, R.M., Urquiaga, S., & Souza, R.D. (2008). *Análise da Conjuntura Agropecuária Safra 2008/09 - Biodiesel: Departamento de economia rural* (10p). Curitiba: Secretaria da Agricultura e Abastecimento.

Souza, J.L.D., Casali, V.W.D., Santos, R.H. & Cecon, P.R. (2008). Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 26 (4), 433-440.

Valle, P.W.P.A. (2009). *Produção de Biodiesel via Transesterificação do Óleo de Nabo Forrageiro* (206 f). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

Recebido em: 24/01/2018

Aceito em: 24/07/2018