

**Balço energético de biocombustíveis**

Natália Pereira<sup>1</sup>, Gabriela Bonassa<sup>1</sup>, Joel Gustavo Teleken<sup>2</sup>, Elisandro Pires Frigo<sup>2</sup>, Luana Salete Celante<sup>1</sup>, Luiz Antônio Zanão Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA. Rua Universitária, 2069 - Jardim Universitário CEP: 85819-110 - Cascavel PR – Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharias e Exatas. Rua Pioneiro, 2153 – Jardim Dallas CEP: 85950-000 – Palotina PR – Brasil.

<sup>3</sup>Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Área de Solos. Rodovia PRT 163, km 188 – Cruzinhas CEP: 85825-000 - Santa Tereza do Oeste PR - Brasil.

pe.nataliaa@gmail.com, gabrielabonassa@gmail.com, joel.teleken@ufpr.br, efrigo@ufpr.br,  
luana\_salete@hotmail.com, lzanao@iapar.br

**Resumo:** A crescente preocupação da sociedade em minimizar o uso de combustíveis fósseis na tentativa de diminuir alterações climáticas e emissões de CO<sub>2</sub> conduz ao maior interesse na produção de energias e combustíveis limpos, como biodiesel, bioetanol, biogás, biohidrogênio e biocombustíveis sólidos. Contudo, na obtenção de tais, ainda há a utilização de combustíveis fósseis e baseando-se nisto, o objetivo do presente trabalho é analisar a sustentabilidade de alguns sistemas bioenergéticos, por meio do balanço energético, responsável por analisar toda energia incrementada na obtenção do produto de interesse, desde o plantio da cultura, fertilização, colheita e processamento, até síntese do produto final e energia contida neste, investigando com base nisto a viabilidade de cada processo.

**Palavras- chave:** Sustentabilidade, bioenergia, eficiência energética.

**The energetic balance**

**Abstract:** The growing concern of society to minimize the use of fossil fuels in an attempt to reduce climate change and CO<sub>2</sub> emissions, leads to larger interest in energy and production of clean fuels, as biodiesel, bioethanol, biogas, biohydrogen and solid biofuels. However, in obtaining such, there is the use of fossil fuels and based on this, the objective of this study is to analyze the sustainability of some bioenergy systems, through energy balance, responsible for analyzing all increased energy to obtain the product of interest, from planting crops, fertilization, harvesting and processing, by synthesis of the final product and energy in this, investigating on that basis the feasibility of each process.

**Keywords:** Sustainability, bioenergy, energy efficiency.

## Introdução

A humanidade, para sua sobrevivência e realização de atividades econômicas, requer energia, e a maior parte da energia consumida no mundo é oriunda da queima de combustível fóssil. Segundo IEA (2014) 81 % de toda energia utilizada no planeta são provenientes dos combustíveis fósseis petróleo, gás natural e carvão. Esses combustíveis fósseis são considerados não renováveis e que inexoravelmente se esgotarão no futuro, o que leva ao desenvolvimento de tecnologias para geração de energia que sejam de fontes renováveis.

Todo recurso energético, como o etanol e o biodiesel, consomem energia nos seus processos produtivos. Do mesmo modo, a produção agrícola é completamente associada ao uso de derivados fósseis tanto para produção de energia como na utilização de insumos. O total de energia contida no biocombustível e o total de energia fóssil investida em todo o processo de produção, contemplando-se o processo agrícola e industrial, reflete o balanço energético da produção.

A maneira com que os fluxos energéticos se distribuem nos sistemas produtivos, de modo geral, recebe pouca relevância. A maior atenção é voltada para uso de novas fontes de energia com a intenção de racionalizar o uso de energia fóssil. Contudo, o desenvolvimento de biocombustíveis e tecnologias limpas ainda são, contraditoriamente, fortemente dependentes de combustíveis fósseis para sua produção. Frente à crise energética, o balanço energético é um mecanismo que indica a sustentabilidade dos sistemas produtivos e pode determinar pontos críticos que fundamentem o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes.

O balanço energético é um indicativo da viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético, permitindo também a identificação de gargalos do sistema as quais são passíveis de melhoria para aumento da eficiência energética. É determinado por medidas diretas dos parâmetros do sistema, sendo que para seu cálculo, faz-se o levantamento dos insumos utilizados e seus valores são convertidos em energia, para posteriormente estabelecer uma relação de eficiência do sistema de produção. Este processo é crucial para tomar decisões quando se busca redução de custos de produção com uso energético intensivo, pela economia de energia e aumento da eficiência na utilização de insumos (SÁ et al., 2013).

Baseado nisto, o presente trabalho busca contribuir para os debates de sustentabilidade de sistemas bioenergéticos retratando sobre balanço energético, com enfoque em definições e aplicações.

### **A energia relacionada com a produtividade e o balanço energético**

Na visão de Marx (2011) o que intermeia o ser humano com a natureza é a energia, ela é considerada um processo de natureza social essencial para as atividades humanas. No contexto social a energia é um elemento de transformação uma vez que levou ao desenvolvimento socioeconômico estimulado por tecnologias que promoveram maiores índices de produtividade (HEMERY et al., 1993). Assim, todos os anseios do capitalismo passam a ser supridos pela utilização de energia. Pois a energia é um insumo usado em inúmeros processos produtivos, como no movimento de motores, iluminação, transporte de mercadorias e pessoas e produção de bens de consumo. Conforme as nações se desenvolvem e expandem suas economias a demanda energética é intensificada.

O uso dos insumos energéticos tem seus reflexos no que diz respeito à segunda lei da termodinâmica, conhecida como a lei da entropia que difunde que a passagem de energia de uma forma a outra implica em perdas colaterais, justificando-se pelo fato de que parte da energia empregada no processo produtivo sempre se transforma em energia térmica não renovável. Cottrel (1955) acreditava que o maior atributo de uma fonte energética era a energia adicional que essa fonte teria capacidade de gerar e incorporar no sistema maior.

A energia gerada de um produto e a energia utilizada nos insumos durante o processo de produção permite a verificação do balanço energético através da avaliação das cadeias produtivas. Com isso, a produtividade e a evolução da sociedade são avaliadas por meio de tecnologias de conversão, com a possibilidade de esse processo identificar gargalos e requerimentos humanos de uso e fontes de energia. Para isso, a análise do fluxo energético exige a unificação do produto de distintas fontes e conversões de energia dos diversos insumos, tais como máquinas, equipamentos, combustível e trabalho humano, na mesma unidade calórica (COMITRE, 1995).

De acordo com Lundgren et al. (2016), para melhoria do balanço energético de um sistema, busca-se o aumento da eficiência energética com um menor gasto de energia, mantendo um mesmo nível de atividade ou serviço, ou seja, uma otimização do processo visando maiores produtividades. Do ponto de vista industrial, seria diminuir a proporção de entrada de energia e esta quantia reduzida, ser acrescentada ao produzido.

O balanço energético, então, define-se como sendo a ferramenta que contabiliza a energia disponível e a consumida em determinado sistema de produção (SANTOS et al., 2013). É um conceito relativo, definindo-se de forma geral como a razão entre resultados de desempenho, serviços, bens ou energia, e a entrada de energia necessária para gerar tais resultados, podendo ser medida para unidades industriais, cidades e países. No entanto, a

energia em si não é capaz de produzir saídas, necessita que se agregue a estes insumos, como trabalho e capital (input), para assim produzir saídas na forma de outros produtos (output) (BIAN et al., 2016).

### **Balanco energético em sistemas produtivos**

O balanço energético da produção pode resultar em valores maiores que 1 quando a energia de saída é maior que a de entrada, portanto um balanço positivo, e menores que 1 quando o gasto de energia supera a saída equivalendo a um balanço energético negativo (OLIVEIRA et al., 2014). A avaliação da energia gerada nos processos de produção de alimentos e de biocombustíveis como substituição aos derivados de petróleo, permite verificar a sustentabilidade dos processos (CAMPOS e CAMPOS, 2004).

Na agricultura, o avanço na genética e das práticas culturais sustentadas por insumos e implementos industriais como o uso de adubos químicos, agroquímicos como herbicidas, fungicidas e inseticidas e a mecanização das lavouras aumentou grandemente a demanda por energia.

Segundo Guerra (2009) a produção de 1 caloria de proteína de soja consome 2 calorias de combustível fóssil. Na produção de carne são consumidas 78 calorias de combustível fóssil para se produzir 1 caloria de proteína de carne. Logo, a produção de proteína de carne requer 39 vezes mais energia que a soja, demonstrando um balanço energético extremamente negativo.

Medeiros (2011) computou o consumo e a produção energética de sistemas produtivos de soja, milho, biodiesel, ração, aves e suínos em Lucas do Rio Verde/MT para analisar as saídas e entradas de energia. Para isso, considerou como *input* da produção agrícola: mão de obra, sementes, óleo diesel, lubrificante e graxa; *input* na produção industrial: energia elétrica, lenha, vapor, combustíveis fósseis e produtos industrializados como metanol e hexano; e *output* de energia produzida: as energias produzidas através dos grãos de soja e milho colhidos, o biodiesel e demais subprodutos, como ração e carnes.

O estudo indicou valores de balanço energético de 13,8 na produção de soja e de 20,46 na produção de milho, evidenciando que ambos os sistemas de produção agrícola possuem balanço energético positivo, apesar do intenso uso de fontes de energia fóssil. O balanço energético na produção de biodiesel proveniente de soja também foi positivo onde para cada unidade de energia consumida gerou-se 1,17 MJ de energia de biodiesel. A produção de ração para aves e suínos apresentou balanço energético positivo, porém na produção de carne de

aves e suínos o balanço foi de 0,34 e 0,39 MJ por unidade de energia produzida, respectivamente, ou seja, se gasta mais energia na produção de carne do que é gerada.

Os grãos apresentam alta capacidade de produzir mais energia do que consomem por serem produtos muito utilizados na alimentação humana e animal, cujo teor energético fornece energia necessária ao metabolismo que os ingere. A produção de biodiesel de soja, embora seja um grão com baixo teor de óleo, possui balanço energético favorável justamente porque durante o processo produtivo há a geração de coprodutos como o farelo de soja e a glicerina que podem servir como matéria-prima em outros processos. Já nos sistemas de produção de carne não há como produzir mais energia no final do processo uma vez que há um grande aporte de energia consumida em forma de insumos nas fases de crescimento e engorda.

De acordo com Zhang et al. (2016), o biodiesel produzido via transesterificação a partir de óleo vegetal, gordura animal e microalgas, gera grandes quantidades de glicerol como subproduto, o qual pode ser matéria-prima para produção de outros biocombustíveis, tornando o balanço energético do biodiesel mais positivo e minimizando os problemas quanto ao gerenciamento do grande volume produzido. O glicerol bruto pode proporcionar ganhos de 5226 GJ de energia por quilograma de biodiesel produzido.

Diversas análises sobre o balanço energético da produção de etanol, provenientes de cana-de-açúcar, levam em consideração tanto o *input* da produção agrícola como o *input* do processo industrial. A energia gasta na produção agrícola envolve: produção, transporte e aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas; mão de obra; máquinas agrícolas e; transporte de matéria-prima. No processo industrial: edificações; produção e transporte de equipamentos; eletricidade; mão de obra; transporte entre as fases de produção; calor para destilação e; transporte do produto até o consumidor. Segundo os cálculos de Oliveira, Serra e Oliveira (2014), o balanço energético positivo é de 3,15; Oliveira (2010) encontrou o valor de 8,3; e Grego (2011) obteve balanço de 9,4.

Segundo Khatiwada et al. (2016), durante o ciclo de produção de etanol de cana-de-açúcar na Indonésia, são emitidos a cada MJ de etanol sintetizado, 29 g CO<sub>2</sub>. Isto representa redução em 67 % de emissões quando comparado a gasolina, a maior parte das emissões advém do cultivo da cultura, principalmente durante produção e aplicação de fertilizantes a base de nitrogênio. O consumo de energia fóssil para produção deste biocombustível é bastante baixo quando comparado ao conteúdo energético final de etanol, e quando se utiliza do bagaço da cana na cogeração de energia, o balanço energético fica ainda mais positivo.

Quanto à vinhaça, subproduto também advindo da produção de etanol, uma alternativa para seu gerenciamento é a biodigestão anaeróbia, que consiste na conversão da fração orgânica da matéria em biogás, tornando o balanço da produção de etanol mais positivo. De 5 a 15 % da energia global consumida na produção de etanol, poderia ser fornecida pelo potencial energético da vinhaça, e segundo Fuess e Garcia (2015), isto proporcionaria um aumento no balanço energético das usinas de etanol de 22 %.

Referente ao etanol celulósico, a Embrapa (2010) realizou um estudo sobre o assunto e calculou o balanço energético da produção de etanol oriundo de bagaço, das pontas e da palha da cana-de-açúcar. O resultado obtido foi de 9,9, visto que nesse caso as matérias-primas são resíduos da produção de cana, logo não há gastos de energia na produção agrícola somente no processo industrial.

A grande vantagem da produção de etanol de cana, além do balanço energético positivo e o alto nível de desenvolvimento de cana-de-açúcar no Brasil, é que todo resíduo gerado na produção pode ser aproveitado e gerar mais energia no sistema.

A conversão energética na produção de biodiesel difere de acordo com a espécie cultivada e pode variar conforme as condições de cultivo que pode exigir maior ou menor aquisição de insumos no processo produtivo. Alguns estudos indicam valores de balanço energético do biodiesel em diferentes cultivos, por exemplo, quando ele é procedente de mamona o balanço energético de 1,28 (CHECHETO et al., 2010), para a cultura do girassol o valor é de 2,37 e de 3,95 para a cultura da soja (GAZZONI et al., 2005).

Embora sejam escassas pesquisas neste assunto, todos os resultados apresentados concernentes à produção de biodiesel demonstraram valores de balanço energético positivos, sem mencionar que quando o biodiesel é produzido com a participação da agricultura familiar é possível aumentar a geração de emprego e renda de forma descomunal. Estudos desenvolvidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário apontam que a substituição de 1 % de diesel mineral por biodiesel, segundo o programa de inclusão social pelo uso de biocombustíveis, gera em decorrência disso cerca de U\$100,00 milhões em emprego e renda (MDA, 2010).

Do ponto de vista energético, considerando-se o possível esgotamento de fontes não renováveis, o uso de biocombustíveis com balanços energéticos positivos, aliado a políticas de incentivo, é preponderantemente benéfico para a sociedade em geral e viável frente à crise energética atual.

### Balanço Energético Nacional

A Empresa de Pesquisa Energética do Brasil (EPE) realiza o balanço energético do país anualmente com uma abordagem diferente do balanço energético que avalia o saldo do fluxo energético inerente aos processos produtivos. O Balanço Energético Nacional (BEN) elaborado pela EPE tem a finalidade de apresentar a contabilização referente à geração e ao consumo de energia no Brasil.

A síntese final do BEN de 2015, que tem como base o ano 2014, totalizou a demanda de energia do país em 305,6 Mtep com uma taxa de crescimento registrada de 3,1 % frente à evolução do PIB de 0,1 %, conforme dados do IBGE.

Do ano de 2005 para o ano de 2014, a oferta interna de energia advinda de fontes fósseis, teve acréscimos na casa de 35 %, no entanto, referindo-se as fontes renováveis, também houve acréscimos de 62 %. Isto indica que apesar da maximização do uso de fontes fósseis, as renováveis tem ganhado espaço na matriz energética, uma vez que nos últimos anos busca-se a diversificação da mesma com a utilização de fontes renováveis de energia. Na Tabela 1, constam os dados publicados no relatório quanto às fontes responsáveis pela oferta de energia no Brasil.

**Tabela 1.** Fontes responsáveis pela oferta de energia no Brasil.

Fonte	Quantidade (10 <sup>3</sup> tep (toe))
<b>Energia não renovável</b>	<b>185,100</b>
Petróleo e derivados	120,327
Gás natural	41,373
Carvão mineral e coque	17,551
Urânio	4,036
Outras não renováveis	1,814
<b>Energia renovável</b>	<b>120,489</b>
Hidráulica	35,019
Lenha e carvão vegetal	24,728
Derivados da cana-de-açúcar	48,128
Outras renováveis	12,613
<b>Total</b>	<b>305,589</b>

Fonte: BEN, 2015.

O setor de transporte foi o que mais aumentou a demanda energética, com uma taxa de crescimento de 3,8 %. A produção de gasolina cresceu em relação ao etanol, embora o aumento no consumo de etanol ter sido maior que o da gasolina. Isto ocorreu provavelmente devido ao preço do etanol ter tornando-se mais competitivo.

Na Tabela 2, encontram-se dados publicados no Balanço Energético Nacional (2015), quanto à participação de cada uma das fontes de combustíveis consumidas no setor de transportes (rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário) no ano de 2014.

O óleo diesel, gasolina e querosene, fontes não renováveis de energia, são os combustíveis mais consumidos no setor de transportes. Mesmo com sua base fóssil, estes possuem preços inferiores a alguns biocombustíveis, os quais ainda não se demonstram economicamente competitivos para substituição dos não renováveis e aumento da participação na matriz.

**Tabela 2.** Participação nacional de cada fonte de combustível consumida no setor de transportes (rodoviário, ferroviário, aéreo e hidroviário) no ano de 2014.

<b>Fontes</b>	<b>Consumo (%)</b>
Óleo diesel	45,2
Biodiesel	2,4
Óleo combustível	1,3
Gasolina automotiva	29,8
Querosene	4,2
Álcool etílico	15,1
Outras	2,1
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: BEN, 2015.

Referente à energia elétrica, pelo terceiro ano consecutivo houve redução na oferta de energia hidráulica, consequência das condições hidrológicas desfavoráveis observadas ao longo do período. A geração de eletricidade provinda de potencia eólica teve crescimento de 85,6 %. Mas, o aumento do consumo final de eletricidade no país em 2014 foi suprido pela expansão da geração térmica, principalmente carvão mineral, gás natural e biomassa.

### **Considerações finais**

Mesmo quando não são completamente precisos, os dados relacionados a balanço energético dentro de sistemas produtivos, podem ser promissores para verificar a viabilidade e sustentabilidade dos processos. Apesar de produções agrícolas e industriais ainda serem muito dependentes de combustíveis fósseis há um retorno de energia positivo na produção de grãos e biocombustíveis, principalmente porque aliado aos processos, também é possível o aproveitamento dos resíduos gerados dentro das cadeias bioenergéticas.

O BEN demonstra que a demanda energética cresce de acordo com o crescimento do PIB, mas em proporções muito maiores, sendo essa demanda geralmente suprida por fontes



fósseis quando a geração de energia renovável se encontra prejudicada. Uma vez que o PIB continue a crescer, cabe a sociedade o investimento em produções agrícolas, industriais e energéticas, cujos balanços energéticos representem retornos positivos e, sobretudo, sustentáveis.

### Referências

BIAN, Y.; HU, M.; WANG, Y.; XU, H. Energy efficiency analysis of the economic system in China during 1986–2012: A parallel slacks-based measure approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 990-998, 2016.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 62 p.

CAMPOS, A.T.; CAMPOS, A.T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CHECHETTO, R.G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

COMITRE, V. **A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira**. São Paulo: Informações econômicas, v. 25, n.12, p.29-35, 1995.

COTTRELL, W.F. **Energy and Society**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1955. 330 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Agroenergia apresenta balanço energético do etanol celulósico**. Notícia publicada em 01/07/2010.

FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Bioenergy from stillage anaerobic digestion to enhance the energy balance ratio of ethanol production. **Journal of Environmental Management**, v. 162, p. 102-114, 2015.

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.

GUERRA, A. C. D. **Produção de Alimentos e Impactos Ambientais (palestras)**. In: III Congresso Mineiro de Alimentação e Nutrição - COMAN. Escola de Nutrição da Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

HEMERY, D.; DEBIER, J.C.; DELÉAGE, J.P., **Uma História da Energia**. Trad. Brito Sérgio de Salvo. Brasília: Edunb, 1993. 447 p.

IEA – International Energy Agency. Key world energy statistics 2014.

KHATIWADA, D.; VENKATA, B. K.; SILVEIRA, S.; JOHNSON, F. X. Energy and GHG balances of ethanol production from cane molasses in Indonesia. **Applied Energy**, v. 164, p. 756-768, 2016.

LUNDGREN, T.; MARKLUND, P. O.; ZHANG, S. Industrial energy demand and energy efficiency – Evidence from Sweden. **Resource and Energy Economics**, v. 43, p. 130-152, 2016.

MARX, K. **Grundrisse**: manuscritos econômicos de 1857-1858. Esboços da crítica da economia política. Trad. Mario Duayer, Nélio Schneider. São Paulo: Boitempo; Rio de Janeiro: EDUFRRJ, 2011.

MEDEIROS, L.F.S. de. **Avaliação da energia contida nos principais sistemas agrícolas e industriais da região médio norte do Estado de Mato Grosso**. 149 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2011.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Biodiesel no Brasil: resultados sócio-econômicos e expectativa futura**. 2010.

OLIVEIRA, L.M.; SERRA, J.C.V.; OLIVEIRA, K.B.M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. **Geoambiente**, Jataí, n. 22, 2014.

SÁ, J. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J.; BODDEY, R. M.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L. Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1323-1331, 2013.

SANTOS, H.P.; FONTENELI, R.S.; FONTANELI, R.S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção para cereais de inverno, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.1, p.1-7, 2013.

ZHANG, X.; YAN, S.; TVAGI, R. D.; SURAMPALLJ, R. Y.; VALÉRO, J. R. Energy balance of biofuel production from biological conversion of crude glycerol. **Journal of Environmental Management**, v. 170, p. 169-176, 2016.