

BALANÇO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL: UM ESTUDO DE CASO

Mônica Joelma do Nascimento Anater¹, Jessika Rodrigues do Nascimento², Eduardo Mirko Valenzuela Turdera³, Carlos Roberto Sanquetta⁴, Ana Paula Dalla Corte⁵

¹Mestranda do Programa de Pós-graduação em Bioenergia da Universidade Federal do Paraná (anaater@hotmail.com) Curitiba-Brasil

²Engenheira de Energia pela Universidade Federal da Grande Dourados

³Professor Doutor da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados

⁴Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná

⁵Professora Doutora da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná

Recebido em: 03/10/2016 – Aprovado em: 21/11/2016 – Publicado em: 05/12/2016
DOI: 10.18677/EnciBio_2016B_150

RESUMO

Um dos principais métodos para verificar o quão vantajoso é a utilização de um biocombustível é por meio do balanço energético, que verifica se a quantidade de energia gerada pelo biocombustível é menor ou maior do que a energia empregada na sua produção. O objetivo principal do trabalho foi analisar o balanço energético e as emissões do processo de produção do etanol através do estudo de caso de uma usina localizada no estado de Mato Grosso do Sul, que produz tanto açúcar e álcool (etanol) quanto energia elétrica para ser injetada na rede, porém, foram analisadas apenas informações acerca da produção do etanol pela usina. A usina forneceu dados como o consumo dos insumos agrícolas, gasto médio de combustível para uso em plantações (L/km) e total de etanol gerado. Analisada a usina e baseados em referências bibliográficas, foi calculado o gasto energético total da indústria para a produção de etanol, o que deu como resultado 21.787,8 MJ.ha⁻¹. Já a produção energética total foi de 134.400 MJ.ha⁻¹. Isso significa que o conteúdo energético do etanol é 6,2 vezes superior à energia gasta na sua produção para esta usina. Este valor está condizente com a literatura especializada consultada. O balanço de emissões foi extremamente positivo, onde foi verificado um total evitado de 982.271,02 tCO_{2eq} em toda área da usina.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar, energia, setor sucroenergético.

ENERGY BALANCE AND GHG EMISSIONS OF ETHANOL PRODUCTION PROCESS: A CASE STUDY

ABSTRACT

One of the methods to verify the advantage of using a biofuel in terms of energy is energy balance, which checks whether the amount of power generated by the biofuel is smaller or larger than the energy used in their production. The objective of this study was to analyze the energy balance and greenhouse gas emissions (GHG) from

the ethanol production process through a case study at a power plant in the state of Mato Grosso do Sul. The plant produces sugar and alcohol (ethanol) as well as electric power to be injected into the interconnected system, however, only analyzed information about the production of ethanol by the plant. For this case study, the plant provided consumption data of agricultural inputs, average consumption of fuel for use in plantations (L/km) and total ethanol produced. We calculated the total energy expenditure of industry for the production of ethanol, which resulted in 21.787,8 MJ.ha⁻¹. The total energy production was 134.400 MJ.ha⁻¹ of sugarcane. This means that the energy content of ethanol is 6.2 times the energy expended in production to this plant. This value is consistent with the literature consulted. Emissions balance was positive, resulting in 982,271.02 tCO_{2eq} avoided in every planted area.

KEYWORDS: sugarcane, energy, sugarcane industry.

INTRODUÇÃO

O balanço energético é um termo utilizado para indicar a relação entre a energia investida na produção e a contida, no caso, no biocombustível. Na maioria das culturas, a energia investida provém quase que totalmente de origem fóssil, e com a diminuição das reservas destes combustíveis é cada vez maior a necessidade de um estudo desta relação energética. Quanto maior a utilização de combustíveis fósseis para a produção de biocombustíveis, menos renováveis estes serão. O biocombustível não se torna vantajoso quando se utiliza mais energia fóssil na sua produção do que a própria energia contida neste biocombustível (ABRAMOVAY, 2009).

No balanço energético, geralmente são considerados: a energia empregada na produção do biocombustível, a demandada nos processos de fabricação e a requerida na obtenção de outros insumos utilizados no processo (CLAUDINO & TALAMINI, 2012). No caso dos biocombustíveis, este contempla desde o óleo diesel utilizado pelos tratores, até a energia incorporada em maquinários, fertilizantes, defensivos, sementes e demais insumos empregados.

Um dos maiores exemplos de dependência de combustíveis fósseis para a produção de biocombustíveis é a utilização de adubos químicos nitrogenados que são derivados do petróleo. Ao longo da cadeia do etanol, são necessários inúmeros insumos, como potássio, fósforo, nitrogênio, herbicidas para o preparo da terra, e gasto de combustível para transporte da cana para a usina e o transporte entre a usina e o centro de distribuição do combustível (TURDERA, 2013).

Enquanto o etanol de cana-de-açúcar possui um balanço energético, em geral, bastante positivo, o etanol de outras matérias-primas, como o milho ou a beterraba, não passa de duas unidades (ABRAMOVAY, 2009). O balanço energético do milho é de apenas 1,2, o que faz com que o balanço energético para a produção do bioetanol proveniente do milho seja praticamente equiparada, ou seja, por cada unidade de energia gasta se recupera uma unidade contida (OLIVEIRA et al. 2014). Desta forma se deduz que não há vantagem tecnológica na produção do bioetanol proveniente do milho, enquanto isso o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar está sempre próximo ou acima de 4.

O balanço energético varia conforme o sistema de produção adotado, podendo ser mais ou menos positivo com o nível de modernidade das tecnologias empregadas. Atualmente é considerada como uma média de balanço energético para o etanol de cana-de-açúcar o valor 8, o qual é condizente com o encontrado

por MACEDO et al. (2004), que fez um balanço baseado nas médias de consumos de energia e insumos na produção do etanol e obteve o valor de 8,3 para usinas produtoras de etanol no Brasil.

Segundo SANTOS et al. (2012), o etano de primeira geração, obtido por meio do caldo de cana-de-açúcar, é o único combustível, que atualmente tem potencial para atender a crescente demanda mundial com um custo relativamente baixo e com menores teores de poluentes. Os processos que mais emitem gases de efeito estufa na cadeia de produção do etanol dizem respeito à produção da cana, como transporte, colheita e plantio, decomposição de fertilizantes, e em muitas vezes, queima da palha (MACEDO et al. 2004). Mesmo assim, segundo ABRAMOVAY (2009), várias estimativas baseadas no ciclo de vida do etanol mostram que este reduz em até 90% as emissões quando comparado com a gasolina.

Segundo COELHO et al. (2016), os resíduos do processo de produção de etanol podem ser excelentes fontes alternativas de energia, tais como torta de filtro, vinhaça e o bagaço. O bagaço é um dos resíduos mais importantes, já que pode ser utilizado na queima em caldeiras, gerando calor e eletricidade no processo de cogeração. Ao utilizar esses resíduos, o balanço energético torna-se ainda mais positivo, já que a energia investida na produção da cana é aproveitada ao máximo.

Este trabalho teve como objetivo analisar o balanço energético e o balanço de emissões do processo de produção de etanol de uma usina moderna do estado de Mato Grosso do Sul e verificar se o sistema produtivo de alta tecnologia está influenciando positivamente no balanço energético.

MATERIAL E MÉTODOS

A usina estudada está localizada no estado de Mato Grosso do Sul e na safra (2012/2013) colheu 4,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, transformadas em 330 mil toneladas de açúcar e 150 mil m³ de etanol anidro. A mesma usina possui 100% de corte mecanizado, limpeza de cana a seco, moenda 100% eletrificada, agricultura de precisão com piloto automático, dois geradores com potência de 122,2 MW e detêm uma área de plantio de 60.000 ha.

Os dados para elaboração deste trabalho foram obtidos *in loco* com responsáveis do setor agrícola da usina, que preferiu não ter divulgado o seu nome. Os dados fornecidos foram os seguintes: quantidade de insumos utilizados pela planta energética para produção do etanol, quantidade de combustível fóssil consumido, e produtividade da fabricação de álcool por tonelada de cana.

A partir destes dados, tomando em consideração que cada insumo ou combustível possui uma equivalência energética, fez-se uma análise do quanto de energia foi gasto para a produção do etanol. Equivalência energética é dita como a energia gasta para produzir 1 unidade de cada insumo, produto ou processo que é utilizado no processo de produção do etanol. Assim, para a obtenção do balanço energético, foram utilizados equivalentes de energia produzida (saída) e energia investida na produção (entrada) conforme os trabalhos de MACEDO et al. (2008) e OLIVEIRA et al. (2005).

O consumo energético na cadeia do etanol se deve ao gasto energético para a produção do mesmo. Neste trabalho, foram considerados os seguintes consumos energéticos, descritos na equação 1:

$$\text{Consumo energético total} = G_{\text{comb}} + G_{\text{fert}} + G_{\text{edif}} + G_{\text{lubr}} + G_{\text{equip}} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

G_{comb} = Gasto de combustíveis (principalmente diesel) na lavoura, no transporte da cana até a usina e no transporte do etanol até a distribuidora;

G_{fert} = Produção de insumos e fertilizantes (potássio, fosfato e nitrogênio) para o melhoramento do solo;

G_{edif} = Gasto energético na construção da usina para a produção de etanol;

G_{lubr} = Gasto energético pela utilização de produtos químicos e lubrificantes;

G_{equip} = Gasto energético da construção dos equipamentos utilizados ao longo do processo de produção do etanol.

Já a produção energética total é dada por:

$$\text{Produção energética total (MJ.ha}^{-1}\text{)} = (P_{usina} \cdot P_{etanol} \cdot E_{qe}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

P_{usina} = Produtividade da usina, em tonelada de cana por hectare ($tc^1 \cdot ha^{-1}$);

P_{etanol} = Produção de etanol por tonelada de cana ($L \cdot tc^{-1}$) ($80L \cdot tc^{-1}$, fornecido);

E_{qe} = Equivalente energético do etanol ($22,4 \text{ MJ} \cdot L^{-1}$) (MACEDO et. al, 2004)

Neste trabalho, não foi considerada a parcela correspondente à geração de bioeletricidade excedente devido a não disponibilização desses dados por parte da usina. O valor adimensional do balanço energético é dado pela relação entre a produção energética total e o consumo energético total, tal como na equação 3.

$$\text{Balanço energético} = \frac{\text{Produção energética total}}{\text{Consumo energético total}} \quad \text{Eq. 3}$$

Quanto maior o valor da relação, melhor o balanço energético, significando um baixo consumo de energia para a produção do biocombustível. Por outro lado, um baixo valor de balanço energético significa um alto consumo de energia para a sua produção, indicando que o biocombustível não é interessante do ponto de vista energético.

Para obter os valores das emissões geradas no processo de produção do etanol para esta usina, utilizaram-se valores de equivalência de emissões para os insumos, já que cada produto ou processo emite uma quantidade de CO_2 . Baseou-se em literaturas como MACEDO et al. (2008), OLIVEIRA et al. (2005) e IPCC (2014) para valores de equivalências de emissões. Assim, foi possível quantificar as emissões do processo de produção de etanol para esta usina. Alguns dados como informações sobre a maquinaria e a torta de filtro não foram fornecidos, desta forma, dados de literaturas foram considerados para estimação das emissões.

A parcela correspondente à fixação de carbono na biomassa foi considerada neutra ou zero, já que o carbono fixado durante o crescimento da planta é liberado novamente durante a produção do etanol e na utilização final do etanol e do bagaço (MACEDO et al., 2004). As únicas parcelas consideradas como emissões evitadas foram do uso do etanol em substituição da gasolina em veículos automotivos, e do uso do bagaço para produção de energia excedente em substituição ao óleo combustível, que, teoricamente, seria utilizado caso não houvesse utilização do

¹ tc = tonelada de cana.

bagaço. Assim, subtraindo-se as emissões evitadas das não evitadas, é possível obter um balanço de emissões para a produção de etanol na usina estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balanço energético

Os valores fornecidos pela usina e as equivalências energéticas utilizadas estão descritos na Tabela 1. Segundo a usina, 100% de sua plantação é orgânica, ou seja, não são utilizados herbicidas, pesticidas ou inseticidas na plantação.

TABELA 1- Gasto energético no processo de produção do etanol gerado pela usina estudada com base na utilização de insumos e em seu equivalente energético.

Componente	Quantidade por hectare	Demanda de energia (MJ)	Gasto energético (MJ . ha ⁻¹)
Nitrogênio	100,00 ^a kg	56,3 ^c por kg	5.630
Fosfato (P ₂ O ₅)	25,00 ^a kg	7,5 ^c por kg	187,5
Óxido de Potássio (K ₂ O)	140,00 ^a kg	7,0 ^c por kg	980
Calcário	4.000 ^a kg	1,71 ^d por kg	6.840
Sementes	1,62 ^b toneladas	15,6 ^d por tonelada	25,27
Herbicidas litros	0 ^a kg	355,6 ^c por kg	0
Pesticidas	0 ^a kg	358,0 ^c por m ³	0
Trabalho	0,04 ^a trabalhadores	0,11 ^d por trabalhador	0,0044
Diesel combustível	165,00 ^a litros	38,3 ^c por litro	6.319,5
Gasto na etapa agrícola			19.982,3
Químicos e lubrificantes			1.477,5 ^c
Construção e edifícios			37,5 ^c
Equipamentos			292,5 ^c
Gasto energético total			21.787,8

Fonte: ^aValores fornecidos pela usina estudada; ^bValores médios de usinas modernas de Mato Grosso do Sul de TURDERA (2013); ^cMACEDO et al. (2008); ^dOLIVEIRA et al. (2005).

O valor obtido para produção energética total no processo de produção do etanol é de 134.400 MJ.ha⁻¹. Esse valor é encontrado a partir do produto entre a produtividade da usina, a produção de etanol por tonelada de cana, e o conteúdo energético do etanol.

Aplicando-se à Eq. 1, obtém-se o valor do balanço energético, tomando em vista as informações da Tabela 1, ou seja:

$$\text{Balanço energético} = \frac{134.000 \text{ MJ.ha}^{-1}}{21.787,8 \text{ MJ.ha}^{-1}} = 6,2$$

MACEDO et al. (2008) avaliaram uma usina sucroenergética de avançada tecnologia localizada no estado de São Paulo e encontraram um valor para o balanço energético de 9,3. Já OLIVEIRA et al. (2005) fizeram uma média das usinas

sucroenergéticas do Brasil e obtiveram um valor de 3,7 para o balanço energético. MACEDO et al. (2004) encontraram um valor médio de 8,3 para usinas sucroalcooleiras do Brasil. TURDERA (2013) fez um estudo do balanço energético de algumas usinas sucroalcooleiras do sul de Mato Grosso do Sul e obteve o valor de 6,8 como um balanço energético médio das usinas estudadas.

Nota-se que o valor calculado neste estudo está entre os valores encontrados pelos autores citados. A usina sucroalcooleira estudada neste trabalho é considerada de grande porte e moderna, porém, o valor de 6,2 para o balanço energético calculado está abaixo dos valores encontrados por MACEDO et al. (2008) e MACEDO et al. (2004) para usinas também consideradas como modernas. Isso pode indicar que, apesar de ser uma usina moderna, questões como eficiência energética no processo de produção de cana-de-açúcar podem não ser tratadas com a devida importância.

Emissões de GEE do processo de produção do etanol

A estimativa de emissões de GEE foi feita a partir da aplicação das equivalências de emissões de gases estufa para cada insumo ou processo considerado. Essas equivalências de emissões correspondem à quantidade em quilogramas de CO₂ equivalente, lançado por hectare desses gases. A Tabela 2 exibe as equivalências energéticas e as emissões correspondentes dos diversos processos englobados na produção de etanol. Os valores de metano, óxido de nitrogênio, distribuição do etanol, vinhoto, torta de filtro e maquinaria não foram disponibilizados pela empresa, porém, como são uma parcela significativa na contabilidade das emissões da usina, foram considerados os valores médios obtidos por TURDERA (2013) em seu estudo sobre usinas sucroalcooleiras do estado de Mato Grosso do Sul.

TABELA 2- Emissões de CO₂ equivalente geradas por hectare com base no consumo de insumos e na produção de resíduos.

Componente	Quantidade por hectare	CO _{2eq} expelido ou lançado por unidade do componente	Emissões (kgCO _{2eq} .ha ⁻¹)
Nitrogênio	100,00 ^a kg	3,97 ^b	397,00
Fosfato (P ₂ O ₅)	25,00 ^a kg	1,30 ^b	32,50
Óxido de Potássio (K ₂ O)	140,00 ^a kg	0,71 ^b	99,40
Calcário	4.000 ^a kg	0,01 ^b	40,00
Herbicidas	0 ^a kg	25,00 ^b	0
Inseticidas	0 ^a kg	28,00 ^b	0
Diesel combustível	165,00 ^a litros	3,08 ^b	508,20
Metano			161 ^c
N ₂ O			465 ^c
Distribuição de etanol			227 ^c
Vinhoto			211,6 ^c
Torta de filtro			27,3 ^c
Maquinaria			1.039,7 ^c
Total			3.208,7

Fonte: ^a Valores fornecidos pela usina estudada; ^b MACEDO et al. (2008); ^c Valores médios de usinas de Mato Grosso do Sul de TURDERA (2013).

De acordo com a Tabela 2, estima-se que no processo de produção de etanol, para este caso, foi emitido aproximadamente 3,21 tCO_{2eq} para cada hectare plantado ou, em outras unidades, 42,78 kgCO_{2eq} para cada tonelada de cana utilizada. TURDERA (2013) obteve, como média das usinas de Mato Grosso do Sul, um total de emissões de 3.082,24 kgCO_{2eq}.ha⁻¹, que é próximo ao encontrado neste estudo. Os valores encontrados por MACEDO et al. (2008) foram de 34,5 kgCO_{2eq}.tc⁻¹, que é um valor inferior ao encontrado neste trabalho.

Considerando os 60.000 ha da usina em estudo, estima-se que a emissão total de CO_{2eq} é de 192.522 toneladas. Este valor corresponde ao total de emissões de CO_{2eq} equivalente lançados pela usina durante todo o processo de produção do etanol em toda área de responsabilidade da usina.

A quantidade de álcool produzido ($A_{\text{produzido}}$) pela usina no ano estudado foi de 150.000 m³. Considerando o Poder Calorífico Inferior do etanol como 29,7 MJ.kg⁻¹ e o da gasolina como 44,8 MJ.kg⁻¹ (IPCC, 2014), tem-se que 1 L de etanol tem o mesmo poder calorífico que 0,663 L de gasolina. Assim, 150.000 m³ de etanol equivalem a 99.450 m³ de gasolina.

Tendo em vista que o fator de emissão da gasolina é de 69.300 kgCO_{2eq}.TJ⁻¹ (IPCC, 2014), a densidade de 0,742 kgCO_{2eq}. L⁻¹ e o PCI da gasolina já mencionado, tem-se que a emissão de CO_{2eq} para cada litro de gasolina é de:

$$ECO_{2\text{gasolina}} = 44,8 \times 10^{-6} \text{ (TJ.kg}^{-1}) \times 69.300 \text{ kgCO}_{2\text{eq}} \cdot \text{TJ}^{-1} \times 0,742 \text{ kg.L}^{-1}$$

$$ECO_{2\text{gasolina}} = 2,3036 \text{ kgCO}_{2\text{eq}} \cdot \text{L}^{-1}$$

Assim, 99.450 m³ de gasolina repercute em uma emissão de 229.093,02 tCO_{2eq}. Esse total é o teórico que seria emitido caso não houvesse produção de etanol pela usina.

Considerando que houve uma troca da utilização de óleo combustível por bagaço de cana para a produção de eletricidade no processo de cogeração, é possível estimar o total de emissões evitadas pelo não uso deste combustível fóssil.

Geralmente um terço da cana-de-açúcar é bagaço. Assim, considerando os 60.000 ha de plantio da usina e a produtividade de 75 tc.ha⁻¹, é possível estimar que 1.500.000 tc são correspondentes a bagaço. O PCI do bagaço da cana, com 50% de umidade é de 1.800 kcal.kg⁻¹ ou 7.542 MJ.kg⁻¹ (MACEDO et al., 2004). Foi considerando um aproveitamento de 100% do bagaço para gerar energia excedente. O fator de emissão do óleo combustível é 77.400 kgCO_{2eq}.TJ⁻¹ (IPCC, 2014), com PCI de 9.550 kcal.kg⁻¹ ou 40,014 MJ.kg⁻¹. Considerando os PCIs de cada combustível, tem-se que 1 kg de bagaço de cana equivale a 0,1885 kg de óleo combustível. Então, a quantidade de óleo combustível necessária para fornecer o mesmo equivalente energético que 1.500.000 toneladas de bagaço é 282.750 toneladas de óleo combustível. Assim, se esse total de óleo combustível fosse queimado para a produção de energia, ter-se-ia um total de emissões de:

$$ECO_{2\text{ óleo combustível}} = 282.750 \text{ t} \times 40,014 \text{ MJ.kg}^{-1} \times 77,4 \text{ tCO}_{2\text{eq}} \cdot \text{TJ}^{-1}$$

$$ECO_{2\text{ óleo combustível}} = 875.700 \text{ tCO}_{2\text{eq}}$$

Assim, a emissão total evitada é a correspondente pelo não uso da gasolina

como combustível veicular e a correspondente pelo não uso de óleo combustível na caldeira para o processo de cogeração, que resulta em um total de 1.174.793,02 tCO_{2eq} evitadas na safra 2012/2013. Subtraindo o valor das emissões geradas no processo de produção do etanol (192.522 tCO_{2eq}) tem-se um total evitado de 982.271,02 tCO_{2eq}.

CONCLUSÕES

O balanço energético da produção do etanol, nesta usina avaliada, foi positivo e manteve-se entre os valores obtidos por outros autores, constatando que a energia contida no etanol é superior a energia despendida para sua produção, demonstrando quão vantajosa é a produção de etanol de cana-de-açúcar em comparação a outras culturas. Foi verificada a importância da utilização do bagaço de cana-de-açúcar como combustível para queima na caldeira, já que as emissões evitadas pelo uso deste resíduo em substituição ao óleo combustível se mostraram muito mais relevantes até que as emissões evitadas pelo uso do etanol em substituição à gasolina.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa concedida, à UFGD e à UFPR pelo apoio e estrutura, e à usina pelo fornecimento dos dados.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. **Biocombustíveis**, A energia da controvérsia. São Paulo: senac, 2009.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. Vol. 17, n. 1 (2012), p.[77]-85, 2012. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/112124>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011>

COELHO, W. L. V.; DA SILVA, F. S.; DALLACORT, R.; & CARNEIRO, P. A. V. Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor sucroenergético no estado de Mato Grosso em diferentes cenários produtivos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 2, 2016. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/rber/article/view/46305>>. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i2.46305>

IPCC. **Climate Change**, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.Uv15QfldX9U>>. Acesso em 13 fev. 2014.

MACEDO, I. C.; JOAQUIM E. A.; SEABRA, J. E. A. R. S. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and prediction for 2020. **Biomass & Bioenergy**, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953407002310>>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.006>

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. São Paulo, 2004. Disponível em: www.unica.com.br/i_pages/files/pdf_ingles.pdf

OLIVEIRA, L. M.; SERRA, J. C. V.; OLIVEIRA, K. B. M; Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. **Geoambiente On-line**, n. 22, 2014. Disponível em: <http://revistas.jatai.ufg.br/geoambiente/article/view/32268>. doi: <http://dx.doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i22.32268>

OLIVEIRA, M. E. D. D.; VAUGHAN, B. E.; JR., E. R. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. **BioScience**, v. 55, p. 593-602, Julho 2005. Disponível em: <http://bioscience.oxfordjournals.org/content/55/7/593.full>. doi: 10.1641/0006-3568(2005)055[0593:EAFECD]2.0.CO;2.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. D.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>.

TURDERA, E. M. V. Energy balance, forecasting of bioelectricity generation and greenhouse gas emission balance in the ethanol production at sugarcane mills in the state of Mato Grosso do Sul. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 582-488, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006697>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.055>