



Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)¹

Diones A. Salla², Fernanda P. B. Furlaneto³, Claudio Cabello⁴ & Ricardo A. D. Kanthack³

RESUMO

Buscou-se, com este trabalho, analisar energeticamente o sistema de produção de etanol utilizando como fonte de carboidratos, a mandioca. As pesquisas de campo foram realizadas na região do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo, no período de janeiro a dezembro de 2007. Avaliou-se o consumo energético referente às fases de produção e processamento industrial e se verificou que o custo energético total da produção agrícola correspondeu a 9.528,33 MJ ha⁻¹, sendo que o item mais oneroso foi o de insumos (35,72%). Nas etapas industriais o consumo energético foi equivalente a 2.208,28 MJ t⁻¹. As operações de hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo representaram 56,72% do dispêndio energético total. A mandioca apresentou um custo energético de 1,54 MJ L⁻¹ em relação ao etanol produzido nas principais operações agrônomicas de produção e 11,76 MJ L⁻¹ nas etapas de processamento industrial. A eficiência energética observada no cultivo e industrialização da mandioca foi de 1,76.

Palavras-chave: sustentabilidade ambiental, energia renovável, produção agrícola, processamento industrial, carboidrato

Energetic analysis of the ethanol production systems of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)

ABSTRACT

This work aimed to analyze the energetic consumption of the ethanol production system, using the cassava as carbohydrate source. The researches were carried out from the field in the mid region of Paranapanema river, Sao Paulo state, during the period January to December, 2007. The energy consumption referring to the phases of crop production and industrial processing were appraised. It was verified that the total energetic cost of the crop production corresponded to 9,528.33 MJ ha⁻¹, and the most onerous item was the inputs (35.72%). In the industrial step, the energetic consumption was equivalent to 2,208.28 MJ t⁻¹. The operations of hydrolysis/saccharification/ treatment of the juice represented 56.72% of the total energetic expenditure. The cassava crop presented an energetic cost of 1.54 MJ L⁻¹ in relation to the ethanol produced in the main agronomic operations crop production, and 11.76 MJ L⁻¹ in the industrial processing. The energy efficiency observed in the cultivation and industrialization of the cassava was of 1.76.

Key words: environmental sustainability, renewable energy, agricultural production, industrial processing, carbohydrates

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à UNESP/FCA, Campus de Botucatu

² SEAPROF, Avenida. Nações Unidas 2604, Estação Experimental, CEP 69908-620, Rio Branco, AC. Fone: (68) 3226-4365. E-mail: diones.salla@gmail.com

³ APTA Médio Paranapanema, Rod. SP 333 (Assis-Marília) km 397, CP 263, CEP 19800-970, Assis, SP. Fone: (18) 3321-2026. E-mail: fernandafurlaneto@apta.sp.gov.br; kanthack@apta.sp.gov.br

⁴ UNESP/CERAT, Rua José Barbosa de Barros 1780, CP 237, CEP 18610-307, Botucatu, SP. Fone: (14) 3811-7158. E-mail: dircerat@fca.unesp.br

INTRODUÇÃO

Observa-se, nos cenários da área energética, progressiva redução das reservas de carbono fóssil. O esgotamento dessas reservas, aliado à crescente demanda energética da sociedade contemporânea, tem provocado uma ascensão nos preços do petróleo, situação agravada em virtude das reservas mais importantes desse produto se concentrarem em poucas regiões no mundo (Angonese et al., 2006; Farrell et al., 2006).

Nos últimos cinquenta anos o uso intensivo de energia não-renovável proporcionou conquistas imprescindíveis para a humanidade (Oliveira Filho et al., 2004; Urquiaga et al., 2005); no entanto, surgiram dificuldades complexas que, isoladas ou em cadeia, vêm causando alterações climáticas de forma irreversível; sente-se, assim, a necessidade da redução das emissões de carbono para a atmosfera e a adoção de medidas emergenciais, como a utilização de fontes energéticas renováveis e limpas (Kim, 2006).

Dentre as fontes de energia renováveis a biomassa poderá ser uma alternativa viável. A ampliação da participação da biomassa a partir da utilização de fontes amiláceas na matriz energética é, entre outras, uma oportunidade de se executar, de modo sustentável, as políticas de cunho social, ambiental e econômico (Cabello, 2006). A produção de etanol por fermentação de substratos amiláceos vem sendo objeto de pesquisas que buscam aperfeiçoar a conversão desses materiais de modo mais rápido e a custos reduzidos (Salla et al., 2007).

Atualmente, o País possui uma matriz energética com significativa participação de energias renováveis a partir da cana-de-açúcar tendo acumulado importante experiência na produção de álcool como combustível (Dantas Neto et al., 2006). Dentre as matérias primas vegetais fornecedoras de energia, o milho tem sido objeto de maiores investigações devido principalmente à sua presença no cenário econômico norte americano (Gray et al., 2006).

No Brasil, a utilização da mandioca como matéria-prima para a produção de biocombustíveis sempre foi discutida, mas dois fatores têm desmobilizado o uso da mandioca para fabricação de etanol: a baixa produtividade agrícola (Pequeno et al., 2007) e o maior consumo energético necessário à hidrólise do amido no preparo do mosto (Cereda et al., 2004), porém esses últimos autores defendem a produção de etanol a partir da mandioca pois, a exemplo dos cereais, essa raiz produz álcool de qualidade superior podendo apresentar outras aplicações, além de carburante.

De acordo com Kanthack et al. (2006) e Ferraz et al. (2009) a produção de álcool de mandioca pode ser incentivada em regiões em que as condições de solo são impróprias para o cultivo da cana-de-açúcar mas apropriadas à cultura da mandioca, que é menos exigente em fertilidade. Os pesquisadores citados propõem, também, o cultivo da mandioca em regiões de baixa densidade demográfica e de baixa renda per capita, como forma de melhorar a distribuição de renda interna. Neste sentido, o trabalho tem como objetivo fazer uma análise energética do processo produtivo e industrial da mandioca, na região do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Fonte de dados

Escolheu-se, para o estudo das energias envolvidas nos processos de produção de etanol da mandioca, a região paulista do Médio Paranapanema, por se tratar de agroecossistema representativo no cultivo e na industrialização da mandioca. As matrizes dos coeficientes técnicos foram elaboradas com base em informações coletadas no período de janeiro a dezembro de 2007, junto aos técnicos da indústria Halotek Fadel (Palmital, SP), Nova América (Tarumã, SP), Pau D'Alho (Ibirarema, SP), Coraci (São Pedro do Turvo, SP), pesquisadores da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios do Médio Paranapanema (Assis, SP) e produtores rurais representantes das tecnologias modais regionais.

Determinaram-se as horas utilizadas com mão-de-obra e quantidade dos insumos usados no cultivo, colheita e transporte da mandioca; posteriormente, realizou-se a conversão das diversas unidades físicas em unidades energéticas, em que a unidade utilizada para o estudo da eficiência energética foi a do Sistema Internacional (SI), ou seja, o joule e seus múltiplos, principalmente megajoule (MJ), sendo: 1 cal = 4,1868 J; 1 cal = 0,000041868 MJ; 1.000 cal = 1 kcal = 4186,8 J; 1 kcal = 0,0041868 MJ; 1 cv = 1 HP 1,014⁻¹ e 1 HP = 2,648 10³ J.

Etapas de produção agrônômica da mandioca

Analísaram-se a produção da mandioca cultivada com dois ciclos vegetativos, produtividade de 33 t ha⁻¹, plantio convencional, aplicação de calcário, adubação (plantio e cobertura), herbicidas (duas vezes), inseticidas (duas vezes), capina manual (uma vez), capina mecânica (três vezes) e colheita semimecanizada.

Nos estudos do consumo energético referente à produção da mandioca, adotou-se o termo “preparo de área” para quantificar a energia da mão-de-obra empregada nas operações de preparo do solo (gradagens pesada e leve), marcação de carregadores, levantamento de terraços e aplicação de calcário e se avaliou, também, a energia gasta com o óleo diesel consumido nessas operações.

O termo “plantio” representa a energia da mão-de-obra e do óleo diesel dispendida nas atividades de corte, preparo, transporte e plantio do material de propagação; no termo “insumos” se encontram contabilizados os itens calcário, manivas, inseticidas, herbicidas e fertilizantes.

“Condução da lavoura” refere-se à energia da mão-de-obra e do consumo de óleo diesel usado nas atividades de capina manual, poda, aplicação de herbicidas, aplicação de inseticidas, cultivador - capina mecânica, adubação de cobertura, dessecação e manutenção de máquinas e equipamentos.

A terminologia “colheita” reúne as energias empregadas pela mão-de-obra e pelo consumo de óleo diesel nas operações roçar/afofar, arrancar, despincar, carregar e transportar as raízes internamente na lavoura.

O “transporte até a indústria” mensura a energia consumida pelo operador do caminhão no transporte da produção de um hectare de mandioca até a indústria e o gasto com o óleo diesel.

Etapas de processamento industrial da mandioca

Obtiveram-se os dados relativos ao consumo energético das operações industriais durante o processamento das raízes de mandioca por meio das especificações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos (Marca EBS) produzidos para atender às indústrias de farinha. Os pontos de coleta de dados foram: condução das raízes de mandioca da plataforma de recepção ao lavador-descascador; operações de lavagem e descascamento das raízes; condução das raízes do lavador-descascador ao picador-desintegrador; operações de picagem e desintegração das raízes; processos de hidrólise e sacarificação; fermentação e destilação.

Nas análises do consumo energético industrial adotou-se o termo “desintegração/ moagem” para as etapas de pesagem, rampa de descarga, rosca transportadora, pré-lavador e lavador, correia e esteira transportadora de raízes, tiragem da casquinha, picador, roscas transportadoras de raiz picada, roscas-sem-fim da caixa alimentadora, cevadeira, preparo do mosto e bombas de transferência.

Na “hidrólise/sacarificação” foram incluídas as operações dos misturadores, bombas de transferência e resfriamento e agitadores; na etapa da “fermentação”, além do processo em si, considerou-se o consumo de energia dos agitadores e da bomba de transferência do vinho para as dornas. Ressalta-se que o custo energético da fermentação, excluindo o consumo de energia dos agitadores e da bomba de transferência do vinho para as dornas, corresponde a 1,64 MJ t⁻¹, 54,35 MJ ha⁻¹ e 0,04 MJ L⁻¹.

Avaliaram-se, na “destilação”, a transferência e os agitadores do vinho volante, transferência do vinho para a coluna de destilação, bomba de acionamento do flegma, bomba da vinhaça e bomba do álcool fino, agitador e carregamento do vinhoto, exaustor de caldeira, bombas d’água da caldeira, porta da caldeira e carrinho de lenha que alimenta a caldeira.

Índices energéticos

Os gastos energéticos com as operações mecanizadas foram calculados a partir do consumo de óleo diesel e etanol, cujos coeficientes energéticos médios equivalem a 40,64 MJ L⁻¹ e 23,37 MJ L⁻¹, respectivamente (Pimentel, 2003). Para a mão-de-obra dessas operações adotou-se o índice de 1,2 MJ h⁻¹, sendo a jornada de trabalho de 8 horas (Carmo & Comitre, 1988) e, para o material de propagação da mandioca utilizou-se o valor de 494,0 MJ ha⁻¹, determinado por Silva & Serra (1978).

Os conteúdos energéticos do calcário, herbicidas e inseticidas, correspondem a 0,2 MJ kg⁻¹, 302,0 MJ kg⁻¹, 306,6 MJ kg⁻¹, respectivamente (Bueno & Simon, 2003). Na conversão das unidades físicas de nitrogênio total, fósforo e potássio em equivalentes energéticos, usaram-se os índices de 73,3 MJ kg⁻¹ para o N (Campos et al., 2005), 13,9 MJ kg⁻¹ para o P₂O₅ (Mercier, 1978) e 9,2 MJ kg⁻¹ para o K₂O (Shapouri et al., 2002). Determinou-se, para a adubação de cobertura da mandioca (KCL, 00.00.60), o valor de 7,2 MJ kg⁻¹ e, para o cálculo do transporte até a indústria, uma distância média de 30 km.

O valor da depreciação energética seguiu o índice disponível na literatura para o agroecossistema milho, que corresponde a 250,5 MJ ha⁻¹ (Bueno & Simon, 2003). Comparou-se

o consumo energético utilizado nas operações de instalação, condução e colheita da mandioca com o gasto energético na cultura do milho, conforme a quantidade usada de hora-máquina, por hectare; desta forma a depreciação energética adotada proporcionalmente neste trabalho, foi de 431 MJ ha⁻¹.

O dispêndio energético nas etapas industriais foi relativo ao consumo dos motores elétricos e do vapor fornecido pelas caldeiras. Os valores encontrados foram convertidos em megajoules e relativos ao processamento de uma tonelada de mandioca e obtenção de 187,8 L de etanol. Procedeu-se à conversão do consumo dos motores elétricos de cavalo-vapor para HP, sendo que um cavalo-vapor (cv) equivale a 1,014 e 1 HP correspondente a 2,684 MJ. Na destilação se adotaram dois quilos de vapor para cada litro de etanol destilado. Esta informação foi disponibilizada pelas agroindústrias Nova América (Tarumã, SP), Pau D’Alho (Ibirarema, SP) e Coraci (São Pedro do Turvo, SP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Custo energético da produção agrícola da mandioca

O custo energético para a produção de um hectare de mandioca correspondeu a 9.528,33 MJ ha⁻¹. Os gastos energéticos mais representativos se destinaram, respectivamente, aos insumos (35,72%), colheita (21,26%) e preparo da área (17,30%) que, juntos, somaram 74,27% do consumo energético total, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1. Demonstrativo do custo energético para a produção de mandioca (MJ ha⁻¹ e %)

Operações de cultivo da mandioca	(MJ ha ⁻¹)	(%)
Preparo da área	1.648,13	17,30
Plantio	487,10	5,11
Insumos	3.403,46	35,72
Condução da lavoura	862,74	9,05
Colheita	2.025,34	21,26
Transporte até a indústria	670,56	7,04
Depreciação energética	431,00	4,52
Total	9.528,33	100,00

Oliveira et al. (2007) observaram dados semelhantes no cultivo do milho safrinha na região do Médio Paranapanema, Estado de São Paulo e ressaltaram que na cultura analisada as operações que apresentaram os maiores dispêndios energéticos foram as atividades de capina, semeadura/adubação e pulverizações, pois demandaram mais horas de serviço e utilizaram grandes quantidades de recursos não renováveis, como defensivos e fertilizantes.

Salla et al. (2007) destacaram que a mandioca é uma espécie que utiliza pouca quantidade de insumos (16,4% da energia utilizada nas operações mecanizadas e manuais para cultivo da mandioca para indústria, plantio convencional, por hectare) em relação à cultura do milho e da cana-de-açúcar, demonstrando que este recurso amiláceo se adapta às condições edafoclimáticas locais, principalmente quanto aos ele-

mentos minerais disponíveis no solo; se verificaram, ainda, que a maior dependência energética da cultura está no potássio e a menor no nitrogênio. Pelo fato da mandioca ser pouco exigente em nitrogênio e por ser este elemento o de maior conteúdo energético dos fertilizantes, a espécie se encontra entre os cultivos amiláceos de grande potencial e competitividade na produção de biocombustíveis renováveis.

Custo energético do processamento industrial da mandioca

O consumo energético industrial total para o processamento da mandioca correspondeu a 2.208,28 MJ t⁻¹ e 72.873,09 MJ ha⁻¹. As operações de hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo representaram 56,72% e a destilação 41,26% do dispêndio energético total em decorrência do alto consumo de combustível fóssil demandado nessas etapas do processamento da matéria-prima (Tabela 2).

Tabela 2. Demonstrativo do custo energético para o processamento da mandioca (MJ t⁻¹, MJ ha⁻¹ e %)

Etapa industrial da mandioca	(MJ t ⁻¹)	(MJ ha ⁻¹)	(%)
Desintegração/moagem	40,72	1.343,92	1,84
Hidrólise/sacarificação/tratamento caldo	1.252,63	41.336,75	56,72
Fermentação	2,99	98,81	0,14
Destilação	911,11	30.066,77	41,26
Manutenção	0,81	26,83	0,04
Consumo industrial total	2.208,28	72.873,09	100,00

Destaca-se que, na parte de processamento industrial da mandioca, os amidos requerem altas quantidades de energia para os processos de hidrólise, porém Cabello (2006) alerta que a cana-de-açúcar também demanda energia considerável no processo de extração, além de uma “reconstrução” do sistema de esmagamento, a cada período de safra de seis meses, permanecendo ociosa durante os demais meses do ano; já as unidades processadoras de amido operam os 12 meses do ano e podem diversificar suas produções intercalando outros materiais no mandiocal permitindo, desta forma, a geração de diversos produtos, como farinhas, féculas, amidos modificados e etanol.

Custo energético da produção agrícola e industrial de um litro de etanol

A mandioca apresentou um custo energético de 1,54 MJ L⁻¹ em relação ao etanol produzido nas principais operações agrônomicas de produção de mandioca e 11,76 MJ L⁻¹ nas etapas de processamento industrial (Tabela 3 A e B).

Esses valores, somados a alguns parâmetros básicos para a produção de etanol a partir da mandioca, como açúcares fermentecíveis totais: 35%; produtividade em açúcares: 10,5 t ha⁻¹ ano⁻¹; conversão de etanol (f.0.46)¹: 0,59 m³ t⁻¹ açúcar⁻¹ e produtividade de etanol: 6,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, mostram que, como matéria-prima amilácea, a mandioca apresenta características significativas e superiores em relação a outras fontes energéticas e um fator que estimulará a sua aplicação certamente está na escalabilidade, uma vez que pequenas unidades produzirão com custos semelhantes aos das agroindústrias de médio e grande porte (Cabello, 2006).

Tabela 3. Demonstrativo do custo energético para produzir um litro de etanol nas principais operações de produção (A) e processamento (B) da mandioca (MJ L⁻¹)

Operação / Processamento	(MJ L ⁻¹)
A. Custo de produção	
Preparo de área	0,27
Plantio	0,08
Insumos	0,55
Condução da lavoura	0,14
Colheita	0,33
Transporte a Indústria	0,11
Depreciação energética	0,07
Total	1,54
B. Custo de processamento	
Desintegração /moagem	0,22
Hidrólise /sacarificação /Tratamento do caldo	6,60
Fermentação	0,06
Destilação	4,85
Manutenção	0,03
Total	11,76

Eficiência energética da produção agrícola e industrial da mandioca

Os custos energéticos totais, considerando-se o consumo nas etapas de produção e de processamento somaram, 13,3 MJ L⁻¹; sabendo-se que a energia de um litro de etanol corresponde a 23,37 MJ, tem-se que a eficiência energética² da mandioca equivale a 1,76. Vê-se, portanto, que a mandioca é uma fonte alternativa viável de produção de biocombustíveis ou, ainda, para fins medicamentosos ou cosméticos.

Ressalta-se que a adoção de técnicas alternativas de produção, como o plantio direto, uso de combustíveis renováveis no sistema produtivo e industrial e a utilização de adubações orgânicas, podem minimizar ainda mais o gasto energético empregado na produção de etanol sendo, portanto, promissores os limites a serem conquistados pelo segmento mandioqueiro.

O desempenho energético apresentado pela cultura da mandioca melhora a visibilidade de suas potencialidades e acena para a necessidade de prosseguimento das pesquisas nas áreas de produção agrônômica, processamento industrial e repercussões ambientais nos agroecossistemas de cultivo. Desta forma se ampliam as possibilidades para a produção sustentável de energia a partir de biomassas.

CONCLUSÕES

1. O item mais oneroso do custo energético total da produção agrícola da mandioca foi o de “insumos”.
2. O dispêndio energético total das operações de “hidrólise/sacarificação/tratamento do caldo” foi o mais representativo nas etapas industriais.
3. A eficiência energética observada no cultivo e industrialização da mandioca foi positiva.
4. A cadeia produtiva da mandioca é potencialmente sustentável e pode contribuir como alternativa energética para vários segmentos que demandam por combustíveis, sendo

necessário pesquisas na área fitotécnica e industrial visando otimizar energeticamente as respectivas operações.

LITERATURA CITADA

- Angonese, A. R.; Campos, A. T.; Zacarkim, C. E.; Matsuo, M. S.; Cunha, F. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.745-750, 2006.
- Bueno, O. C.; Simon, E. J. Energia no agroecossistema milho em assentamento rural. *Energia na Agricultura*, v.18, n.4, p.20-30, 2003.
- Cabello, C. Produtos derivados de fécula de mandioca-etanol. In: Workshop sobre Tecnologias em Agroindústrias de Tuberosas Tropicais, 4, 2006, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP, 2006. p.02-06.
- Campos, A. T.; Saglietti, J. R. C.; Bueno, O. C. Análise energética na produção de feno de "coast-cross". *Engenharia Agrícola*, v.25 n.2, p.349-358, 2005.
- Carmo, M. S.; Comitre, V. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. *Agricultura em São Paulo*, v.35, n.1, p.87-97, 1988.
- Cereda, M.; Vilpox, O. F.; Takahashi, M. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. *Culturas Tuberosas Amiláceas Latino Americanas*, v.3, p.30-46, 2004.
- Dantas Neto, J.; Figueredo, J. L. C.; Farias, C. H. A. de, Azevedo, H. M. de; Azevedo, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.283-288, 2006.
- Farrell, A. E.; Plevin, R. J.; Turner, B. T.; Jones, A. D.; O'hare, M.; Kammen, D. M. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science*, v.311, p.506-508, 2006.
- Ferraz, F. M.; Bruni, A. T.; Del Bianchi, V. L. Performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) in treatment of cassava wastewater. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.40, n.1, p.48-53, 2009.
- Gray, K. A.; Zhao, L.; Emptage, M. Bioethanol. *Current Opinion in Chemical Biology*, v.10, p.141-146, 2006.
- Kanthack, R. A. D.; Furlaneto, F. P. B.; Valle, T. L.; Feltran, J. C.; Cherante, M.; Vieira, J. M.; Bonissoni, K. C. Inovações, desafios e estrangulamentos na cultura da mandioca em São Paulo. In: Workshop sobre Tecnologias em Agroindústrias de Tuberosas Tropicais, 4, 2006, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP, 2006. p.25-45.
- Kim, S. D. B. E. Ethanol fuels: E10 or E85 e life cycle perspectives. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.11, n.2, p.21-117, 2006.
- Mercier, J. R. *Energie et agriculture, le choix ecologique*. Paris: Debard, 1978. 187p.
- Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A.; Ribeiro, M. C. Racionalização energética de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.135-143, 2004.
- Oliveira, M. M.; Furlaneto, F. P. B.; Tsunehiro, A.; Duarte, A. P. Análise da eficiência energética e econômica dos sistemas de produção de milho safrinha no Médio Paranapanema, Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36, 2007, Bonito, MS. Anais... Bonito: SBEA, 2007. CD Rom.
- Pequeno, M. G.; Vidigal Filho, P. S.; Tormena, C.; Kvitschal, M. V.; Manzotti, M. Efeito do sistema de preparo do solo sobre características agrônômicas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.5, p.476-481, 2007.
- Pimentel, D. Ethanol fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*, v.12, n.2, p.127-134, 2003.
- Salla, D. A.; Furlaneto, F. P. B.; Cabello, C.; Kanthack, R. A. D. Análise energética das operações de cultivo da mandioca no Médio Paranapanema, Estado de São Paulo (*Manihot esculenta* Crantz). In: Congresso Brasileiro da Mandioca, 12, 2007, Paranavaí. Anais... Paranavaí: CERAT, 2007. CD-Rom.
- Shapouri, H.; Duffield, J. A.; Wang, M. The energy balance of corn ethanol: an update. Washington: US Department of Agriculture, 2002. 19p.
- Silva, J. G.; Serra, G. E. Energy balance for ethyl alcohol production from crops. *Science*, v.201, n.4358, p.903-906, 1978.
- Urquiaga, A.; Rodrigues Alves, B. J.; Boodey, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. *Política Agrícola*, v.14, n.1, p.42-46, 2005.