

**Balanço Energético de um Sistema
Integrado Lavoura-Pecuária no Cerrado**





Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1676-6709
Dezembro/2007

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 26

Balanco Energético de um Sistema Integrado Lavoura-Pecuária no Cerrado

Luís Henrique de Barros Soares
Luciano Cavalcante Muniz
Reginaldo Santana Figueiredo
Bruno José Rodrigues Alves
Robert Michael Boddey
Segundo Urquiaga
Beata Eموke Madari
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Seropédica – RJ
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR 465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Alexander Silva de Resende e Claudia Pozzi Jantalia

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Felix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2007): 50 exemplares

S676b Soares, Luis Henrique de Barros

Balanço energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no cerrado / Luciano Cavalcante Muniz, Reginaldo Santana Figueiredo, Bruno José Rodrigues Alves, Robert Michael Boddey, Segundo Urquiaga, Beata Eموke Madari, Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. ?? p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agrobiologia, ISSN 1676-6709 ; ???)

1. Prática cultural. 2. Sistema de produção. I. Muniz, L. C., colab. II. Figueiredo, R. S., colab. III. Alves, B. J. R., colab. IV. Boddey, R. M., colab. V. Urquiaga, S., colab. VI. Madari, B. E., colab. VII. Machado, P. L. O. de A., colab. VIII. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). IX. Título. X. Série.

CDD 631.5

© Embrapa 2007

Autores

Luis Henrique de Barros Soares

D.Sc., Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

Rodovia BR 465, km 7. Caixa Postal 74505. Seropédica/RJ. CEP 23890-000

E-mail: Luis.henrique@cnpab.embrapa.br

Luciano Cavalcante Muniz

Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás

Rodovia Goiânia/Nova Veneza, km zero, Goiânia/GO, CEP 74001-970

E-mail: munizluciano@hotmail.com

Reginaldo Santana Figueiredo

Ph.D., Professor Adjunto, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás.

Rodovia Goiânia/Nova Veneza, km zero, Goiânia/GO, CEP 74001-970

E-mail: santanarf@uol.com.br

Bruno José Rodrigues Alves

Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

Rodovia BR 465, km 7. Caixa Postal 74505. Seropédica/RJ. CEP 23890-000

E-mail: bruno@cnpab.embrapa.br

Robert Michael Boddey

Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

Rodovia BR 465, km 7. Caixa Postal 74505. Seropédica/RJ. CEP 23890-000

E-mail: bob@cnpab.embrapa.br

Segundo Urquiaga

Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.

Rodovia BR 465, km 7. Caixa Postal 74505. Seropédica/RJ. CEP 23890-000

E-mail: urquiaga@cnpab.embrapa.br

Beata Eموke Madari

Ph.D., Pesquisadora Embrapa Arroz e Feijão.

Rodovia GO-462, km 12, Santo Antônio de Goiás/GO, CEP 75375-000

E-mail: madari@cnpaf.embrapa.br

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Dr., Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão.

Rodovia GO-462, km 12, Santo Antônio de Goiás/GO, CEP 75375-000

E-mail: pmachado@cnpaf.embrapa.br

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract.....	8
Introdução	9
Integração Lavoura-Pecuária	10
Material e Métodos.....	14
A Metodologia de Balanços Energéticos	14
Resultados e Discussão.....	17
Balanço Energético de um Sistema Integrado Lavoura-Pecuária.....	17
Principais parâmetros agrícolas	18
Principais parâmetros da pecuária	21
Integração do Balanço Energético	24
Conclusão	25
Referências Bibliográficas.....	26

Balanço Energético de um Sistema Integrado Lavoura-Pecuária no Cerrado

*Luís Henrique de Barros Soares
Luciano Cavalcante Muniz
Reginaldo Santana Figueiredo
Bruno José Rodrigues Alves
Robert Michael Boddey
Segundo Urquiaga
Beata Eموke Madari
Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado*

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar um sistema integrado lavoura-pecuária sob o ponto de vista dos fluxos globais de energia. Em uma área experimental da Fazenda Capivara, localizada na Embrapa Arroz e Feijão, foi realizada uma avaliação econômica que serviu de base para esta primeira análise energética, aqui apresentada, de uma situação real de integração na região do Cerrado Brasileiro. O balanço energético de um sistema de produção, quando contabiliza em detalhes todos os componentes deste sistema sob a ótica de entradas e saídas energéticas, é um dos indicativos mais precisos da sustentabilidade da atividade agropecuária. Os resultados demonstram que a atividade agrícola demanda a maior parte do investimento energético do sistema. De um total de 34,58 GJ de energia fóssil e não renovável investida, em torno de 97% é gasta nas operações agrícolas, em virtude do elevado grau de mecanização e necessidade de insumos para que seja possível atingir produtividades consideráveis de milho e soja, principais culturas intensivas do Cerrado. Destaca-se que apenas a adubação nitrogenada na cultura do milho responde por 29% de todo investimento energético do sistema. Ambas as culturas exportam, por hectare, aproximadamente 165,06 GJ de energia renovável em seus grãos, sem considerar a palha residual. Em um ciclo de produção do sistema integrado são produzidas 51,4 arrobas de carcaça animal, em torno de 771 kg de peso vivo. Obtém-se um saldo energético em cada ciclo completo de integração lavoura-pecuária de 130,48 GJ, e uma eficiência energética, ou balanço energético global, calculada em 4,77:1. Ao considerar o produto animal oriundo da atividade integrada temos um acréscimo energético de mais 3,9 GJ total, por hectare. Percebe-se claramente a importância da análise energética na identificação dos principais gargalos do sistema, como a pesada contribuição dos adubos nitrogenados. Apesar da complexidade do sistema avaliado em virtude de sua múltipla composição, a metodologia utilizada mostra-se eficiente e robusta, devendo ser ferramenta indispensável na avaliação da sustentabilidade dos agroecossistemas.

Termos para indexação: Sistema de produção, balanço energético.

Energy Balance of a Crop-Pasture Integrated System at the Brazilian Cerrado

Abstract

The present work aimed an assessment of the integrated crop-pasture production system by means of a global energy flow analysis. An economical feasibility analysis of the whole system was done at Fazenda Capivara, the experimental field located into Embrapa Arroz e Feijão area at Santo Antônio de Goiás (GO, Brazil), and supported the energetic approach presented here, a real picture of the plantation and livestock breeding integration project, settled on the Brazilian Cerrado. The energy balance of a production system, when particularly accounts for all the components under an input/output point of view, is among the most accurate sustainability indicators of the agroindustrial activity. The results demonstrated that agricultural component demands the majority of energetic investment. From a sum of 34.58 GJ of non-renewable fossil energy inputted, about 97% was spent into field operations, mainly due to the high mechanisation level and chemicals needs, indispensable to attain appropriate soy and maize yields, both the main plantations at Cerrado region. The data point out that nitrogen fertilisation of maize accounted for 29% of the whole energetic inputs. The two crops ensemble drawn in their grains 165.06 GJ of renewable energy, not considering the surplus biomass, like straw. One production cycle of the integrated system produced 1,664 lb of animal live weight, about 771 kg. The exceeding energy of a cycle of integrated crop-pasture production system was 130.48 GJ, and the whole energy balance was calculated as 4.77:1. When considering the animal production coming from the integrated activity, one gained an energy surplus of 3.9 GJ per hectare. The importance of energetic approach in identifying the energy constraints is clearly perceived, as the heavy contribution of the nitrogenous fertilisers. Despite the complexity of integrated system due to its multiple composition, this methodology shows itself as robust and efficient. The energy balance study is an useful tool in assessing the sustainability of the agroecosystems.

Index terms: Agrosystems, energy balance.

Introdução

A região do Cerrado brasileiro, localizada na zona central do território nacional, compreende mais de 200 milhões de hectares compostos por diferentes tipos de solos que apresentam, como características particularmente comuns, a elevada acidez e níveis de fertilidade natural predominantemente baixos. A maior parte desta área compreende pastagens nativas e cultivadas, o que comprova a aptidão da região para a criação extensiva de animais. O início do desenvolvimento qualitativo e quantitativo da pecuária nos Cerrados coincide com a introdução, no início dos anos 1970, de gramíneas forrageiras de origem africana, notadamente as braquiárias, que rapidamente se adaptaram ao clima e ao nível de conhecimento tecnológico da época (KLUTHCOUSKI et al., 2003). A expansão da agropecuária nacional nos anos seguintes promove a introdução bem sucedida de culturas altamente mecanizadas, com tecnologias baseadas em elevado consumo energético, principalmente na forma de fertilizantes e defensivos, e baixa utilização de mão-de-obra. Com a evolução e intensificação das áreas utilizadas, associados ao manejo inadequado dos solos, inicia-se um processo de degradação ambiental devido, principalmente, à desestruturação física com erosão e compactação, e química, com perdas nos já baixos valores de fertilidade. As conseqüências diretas se traduzem em baixas produtividades, e na necessidade de ampliação das fronteiras, inclusive avançando sobre biomas mais sensíveis como as florestas tropicais, para manter, ou mesmo ampliar, os volumes de produção.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (SILP) introduzidos com sucesso na região dos Cerrados a partir do início dos anos 1990, com decisiva atuação da Embrapa durante todo o planejamento, pesquisa, implantação e difusão dos modelos, estão com certeza entre as principais alternativas tecnológicas para o manejo sustentável dos agroecossistemas da região. A partir deste momento passa-se a valorizar técnicas de produção que se baseiam principalmente no mínimo revolvimento do terreno e na manutenção adequada de níveis altos de matéria orgânica. Assim surge o sistema Barreirão e, 10 anos depois, o sistema Santa Fé, que associam a produção pecuária sustentada em sucessão com a de grãos, visando, essencialmente, a recuperação das pastagens degradadas com efeito significativo sobre as culturas associadas, que oferecem suporte e diversificação ao sistema.

Dentro da realidade atual, espera-se que a região dos Cerrados contribua de modo peremptório sobre a produção de culturas agroenergéticas renováveis, que possam levar o país a assumir um papel de destaque mundial cada vez maior na geração e implementação de tecnologias limpas e viáveis, essenciais para o desenvolvimento e sustentabilidade do planeta. Para tal, o Plano Nacional de Agroenergia propõe que, na apreciação dos produtos que visam a substituição das fontes fósseis de energia, sejam elaborados os balanços energéticos de todas as suas cadeias de produção, sem nenhum prejuízo às metodologias que visam avaliar a sustentabilidade ambiental e competitividade econômica. Pelo que foi mencionado, associando a experiência da Embrapa Agrobiologia em projetos que abordam os fluxos de massa e energia nos sistemas agrícolas, realizou-se uma avaliação da eficiência energética de um sistema de integração lavoura-pecuária modelo na região do Cerrado brasileiro, determinando-se os pontos críticos que demandam altos níveis de energia fóssil, tanto no componente lavoura como na produção pecuária. É claro que se pretende racionalizar ao máximo o uso de insumos que demandam, na sua produção, altos níveis de energia, e que um balanço energético é um dos parâmetros técnicos mais importantes e essenciais para dar suporte a qualquer programa agroenergético. Todavia, é também importante estabelecer qual o impacto da produção de grãos sobre a sustentabilidade geral do bioma Cerrado.

Integração Lavoura-Pecuária

Os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (SILP), inicialmente desenvolvidos para a recuperação nos níveis de produtividade das pastagens, degradadas pelo manejo inadequado dos agroecossistemas nos Cerrados, podem ser considerados atualmente como uma potente ferramenta tecnológica e gerencial para a sustentabilidade agropecuária e a inclusão social. Isto acontece porque foi incorporada, no seu desenvolvimento, uma série de práticas de fundamentação científica que resguardam de modo geral os recursos naturais como, por exemplo, o plantio direto na palha.

Agricultura sustentável compreende o manejo e a utilização do ecossistema agrícola de modo que este mantenha sua diversidade biológica, produtividade, capacidade de regeneração, vitalidade, e habilidade operativa para que, desta forma, possa prestar – hoje e no

futuro – uma significativa função econômica e social, na esfera nacional e global, e não causar danos a outros ecossistemas. Para uma estimativa da sustentabilidade dos sistemas de produção, uma série de ferramentas avaliadoras tem sido desenvolvidas, dentre estas pode-se incluir a Análise do Ciclo de Vida (LCA), Avaliação do Impacto Ambiental (EIA), e os Padrões de Sustentabilidade (PC&I). Visto que estes métodos utilizam basicamente os mesmos indicadores, os procedimentos e campos de aplicação é que são um pouco diferentes (LEWANDOWSKI et al., 1999). Mais recentemente surgem o sistema SAFE e o Multifuncional (CAUWEMBERG et al., 2007), que tentam uma abordagem diferenciada. Todavia, a definição de uma série de indicadores para se avaliar o desenvolvimento sustentável, ou melhor, quais indicadores poderão ser, ou não, considerados é uma tarefa difícil, como postula BOSSEL (2001).

O interesse cada vez maior da sociedade por fontes de energia alternativas, aquelas que possam vir a substituir gradualmente os combustíveis fósseis, traz à luz as culturas agrícolas renováveis de grande potencial energético. Estas culturas tendem a serem intensificadas nas regiões do país consideradas como celeiros agrícolas, sendo os Cerrados, atualmente, o principal. Porém, como é ressaltado por URQUIAGA et al. (2005) uma grande quantidade de trabalhos científicos publicados sobre o assunto não fornece informações sobre as quantidades de combustíveis fósseis efetivamente consumidos no processo de produção desse biocombustível. A relação entre o total de energia contida no biocombustível e a energia fóssil total investida nos processos agrícolas e industriais de produção, nos fornece o balanço energético específico deste material.

Os resultados baixos de alguns balanços energéticos para produção de etanol combustível realizados no exterior, auxiliaram os cientistas brasileiros a propor alternativas efetivas na redução do consumo de combustível fóssil no processamento do mosto e destilação do etanol nas usinas. A grande experiência nacional com a cultura da cana-de-açúcar e os avanços tecnológicos na cadeia produtiva fizeram com que o balanço energético do etanol seja, hoje, ao redor de 8, podendo chegar a 10 se for considerado o excedente energético produzido pelo aproveitamento do bagaço na co-geração de energia que é repassado para a rede pública (MACEDO, 1996; URQUIAGA et al., 2005).

A possibilidade de integrar lavoura e pecuária com sucesso, depende, em grande parcela, do grau de agregação tecnológica do empreendimento. Os incentivos que advirão das políticas nacionais para produção de agroenergéticos podem novamente direcionar o bioma Cerrado aos monocultivos, situação esta totalmente indesejável. Deve-se enfatizar que a policultura, a persistência de plantas forrageiras e a produtividade animal devem ser valorizadas, pois são essenciais para os elevados rendimentos dos programas de integração (MELLO et al., 2004).

A estimativa dos balanços de energia e de eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis. Seus estudos também se justificam pela existência de numerosos trabalhos, muitos deles conflitantes ou antagônicos, realizados em todas as partes do mundo que buscam redimensionar ou re-orientar os sistemas de manejo para a economia de energia fóssil.

SANTOS et al. (2001) realizaram balanços energéticos para sistemas de sucessão e rotação de culturas. Os resultados indicaram que a sucessão foi sempre mais favorável que a rotação. A maior ou menor necessidade de tratos culturais, dependendo das condições climáticas de um ano específico que ofereça uma situação particular de desenvolvimento de moléstias ou pragas, pode afetar significativamente o balanço energético. Da mesma forma pode-se pensar quanto às necessidades sanitárias de um rebanho bovino associado ao sistema.

A energia consumida no sistema de produção de uma cultura não é fácil de ser determinada, pois depende de inúmeros fatores. É necessário estimar a energia consumida em todo o processo produtivo, desde a fabricação de máquinas e implementos, a produção de insumos, o plantio, o manejo e a colheita, até o transporte do produto agrícola ao local de processamento (GAZZONI et al., 2006).

Em uma ampla análise de balanço energético e aspectos econômicos, KUEMMEL et al. (1998) concluem que o sistema combinado de produção de alimentos e agroenergia é dinâmico e flexível, tem elevado retorno ambiental e permite um grande acúmulo de CO₂ no sistema. CAMPOS & CAMPOS (2004) acreditam ser um grande desafio estabelecer um paradigma definitivo para o desenvolvimento de balanços de energia, considerando as condições brasileiras de um

país com dimensões continentais, caracterizado por grandes diferenças edafoclimáticas e sociais. E concluem que precisa existir uma maior exploração desta abordagem por parte dos pesquisadores brasileiros preocupados com a questão da sustentabilidade dos agroecossistemas. Sendo uma ciência em desenvolvimento, caracterizada inclusive por possibilitar escolha de classificações e métodos de forma subjetiva, é necessário que haja uma solidificação do conhecimento teórico para que se possa compor com segurança uma nova matriz energética no plano nacional.

Uma questão essencial que relaciona a importância dos estudos de balanço energético com a viabilidade ambiental de um agroecossistema pode ser depreendida do trabalho de SCHARMER & GOSSE (1996). Estes autores apontam que as emissões específicas de CO₂ (gCO₂/MJ) são inversamente proporcionais ao valor da relação Output/Input (O/I) para os biocombustíveis. Além disso, foram estudados os fluxos de energia e a determinação do valor da eficiência energética. Esta tende a decrescer à medida que problemas ambientais relativos à produção agrícola ao longo do tempo vão aparecendo.

Existe uma grande dificuldade em se obter dados consistentes e confiáveis relativos ao uso da energia na agricultura. Os cálculos essencialmente econômicos, de preços e custos energéticos, não discriminam a variedade de origem dos combustíveis utilizados. Assim, as séries temporais do uso de energia agregada na agricultura pecam pela pobreza de dados e qualidade da metodologia (CLEVELAND, 1995).

WOOD & CORLEY (1991) sugerem algumas oportunidades para pesquisa e desenvolvimento que podem ser desenvolvidas a fim de se obter balanços energéticos cada vez mais favoráveis para as culturas agrícolas. A substituição de fertilizantes químicos inorgânicos, que possuem um custo energético intrinsecamente elevado, é uma estratégia. Neste ponto, o estudo de culturas e variedades que apresentam a capacidade de fixar quantidades significativas de nitrogênio atmosférico na presença de microrganismos específicos é uma das áreas mais promissoras.

É preciso ressaltar que, no país, não tem sido feito nenhum balanço energético de qualquer sistema integrado como os SILPs e, por isto, o estudo aqui realizado se justifica. Além disso, há uma necessidade de

se aprofundar estes conhecimentos para ser possível a proposição de modelos de balanços energéticos comparáveis entre os sistemas de manejo.

Material e Métodos

A Metodologia de Balanços Energéticos

Balanço energético é uma metodologia que tem como objetivo estabelecer os fluxos de energia em um sistema de produção, identificando a demanda total, os gargalos e problemas, a energia incorporada em produtos e a eficiência na sua produção.

A possibilidade de se estimar os balanços de energia e a eficiência energética são importantes instrumentos no monitoramento da agricultura ante o uso de fontes de energia não renováveis. Porém a literatura afirma que existem distintas formas de conduzir uma dada cultura ou criar uma determinada espécie animal (CAMPOS & CAMPOS, 2004). Fatores tais como tipo de solo, topografia (inclinação, altitude, exposição solar) do terreno podem provocar diferenças consideráveis no consumo de energia. Mesmo assim, quando não completamente precisos, os dados relacionados a consumo e eficiência energética constituem poderosas ferramentas de diagnóstico de sistemas produtivos agrícolas.

Na literatura da análise energética dificilmente se encontra uniformização na designação e definição de conceitos de eficiência. De fato, vários indicadores distintos, com designações semelhantes ou diferentes, têm sido utilizados para caracterizar a eficiência energética de sistemas em geral. Em termos simplistas, a eficiência energética pode ser tradicionalmente apresentada como:

$$E_f = E (out)/E (in)$$

onde, $E (out)$ representa a energia final disponibilizada pelo combustível por unidade de massa, e $E (in)$ a energia de entrada, que representa o referencial de consumo ou investimento energético, quase sempre de origem fóssil, não renovável, podendo ter este diferentes significados.

Os indicadores de eficiência energética atualmente considerados como mais importantes e significativos são, em primeiro lugar, a eficiência energética global, cuja tendência é se transformar, dentro de um estudo mais amplo, em eficiência global do ciclo de vida. Em segundo lugar pode-se considerar apenas a eficiência de utilização de energia fóssil, assim o parâmetro E (*in*) assume valores distintos. Na análise energética de biocombustíveis, um terceiro indicativo é de extrema importância, que pode ser chamado de valor líquido de energia. Este depende da eficiência energética global, mas também da energia total produzida por uma cultura, ou seja, pela produtividade em termos de energia que é reflexo da maior ou menor aptidão em produção de óleos ou açúcares fermentescíveis.

Quando se visualiza esta relação direta de proporcionalidade (Figura 1) entre a energia obtida no sistema e a energia investida, na forma gráfica, pode-se notar que existe um comportamento assintótico decorrente do fato de que para cada aumento unitário no balanço energético temos um aumento cada vez menor na energia fóssil poupada (BODDEY et al., 2008). Embora pareça que um aumento no balanço energético acima de determinados valores não se reflete em valores proporcionais de economia energética, o saldo energético de energia e a produtividade energética por unidade de produção aumentam no mesmo nível.

De fato, estes termos são melhores percebidos quando se analisa o ciclo de produção de biocombustíveis, que são culturas destinadas a serem processadas prioritariamente com finalidade energética. Numa análise ampla de um sistema integrado, como a integração lavoura e pecuária, deve-se decompor o sistema em duas etapas: uma primeira fase onde se produz alimento na forma de carne, e uma segunda etapa onde se produz uma cultura energética.

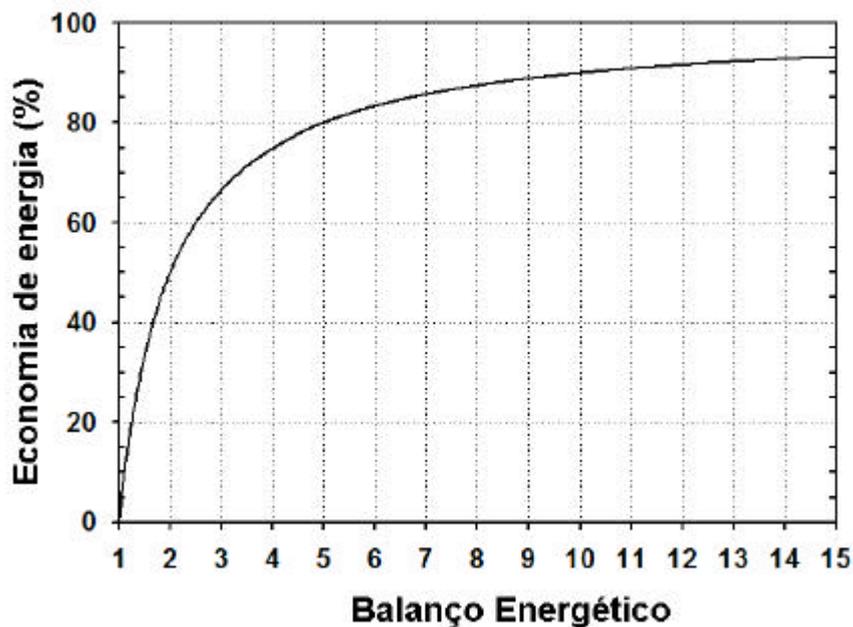


Figura 1. Economia de energia investida em relação à variação no balanço energético de um sistema (Adaptado de BODDEY et al., 2008).

É praticamente impossível considerar como eficiente um balanço energético que relaciona a energia contida no produto animal, que se traduz em ganho de peso, com a energia vegetal destinada a ser transformada em biocombustível. Estar-se-ia penalizando excessivamente o sistema integrado que dá prioridade à produção animal, pois na etapa de ascensão em nível trófico existe uma grande perda energética em decorrência da atividade metabólica animal de manutenção. É prática corrente na literatura ecológica considerar que na mudança de nível, de produtores primários (produção essencialmente vegetal) para consumidores primários (ruminantes destinados ao abate), e assim por diante, apenas dez por cento da energia se conserva. Assim, uma análise essencialmente energética, mas sem muita racionalidade, quanto mais carne se produz, menos energia obtém de um sistema.

Poder-se-ia considerar então, para não pungir em demasiado a produção de alimento nobre nem desconfigurar excessivamente os balanços energéticos, que os insumos energéticos sejam ponderados em função do ganho de peso animal. Ainda assim, deixamos de levar em conta que as condições iniciais podem influir no resultado final. Porém, de algum ponto a análise deve partir e estar referenciada. Neste trabalho, a análise energética levou em conta a energia produzida na cultura em sucessão ou rotação, integrada com a

pecuária, e a quantidade de energia despendida para produzir uma unidade em peso de carcaça animal.

Resultados e Discussão

Balanco Energético de um Sistema Integrado Lavoura-Pecuária

A fazenda Capivara, localizada na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão em Santo Antônio de Goiás (GO) possui uma área de 90 hectares aonde uma série de experimentos de integração são desenvolvidos. Com fundamento nos dados obtidos para um programa de rotação de culturas anuais e pecuária, representativo da região do Cerrado e da tecnologia mais adotada e recomendada, em virtude das características das unidades de produção da região, estabeleceu-se a estrutura do balanço energético. As informações aqui utilizadas são de experimentos reais, realizados por MUNIZ (2006) com a finalidade de avaliação econômica do sistema integrado.

O sistema Santa Fé compreende a introdução consorciada de uma pastagem junto com a cultura anual, valendo-se de estratégias para retardar o estabelecimento da primeira para não haver competição excessiva por radiação solar, nutriente e água com a segunda. Assim, após a colheita da cultura, o sistema de pastagem se estabeleceu, podendo-se aproveitar a correção e a adubação residual para melhorar as condições de estabelecimento da forragem durante o período mais seco do ano. Sabe-se que a manutenção da cobertura do solo, mesmo que manejada sob pastejo, melhora muito as condições físico-químicas do solo para a cultura subsequente, deste modo todo o sistema se beneficia ao longo do tempo.

Após a área ser manejada durante dois anos e meio com culturas anuais, iniciou-se a ocupação integrada ao longo de três anos e meio, quando tem início este trabalho. No período de verão, a área do experimento estava ocupada com 50% de lavoura e 50% com pecuária. As culturas utilizadas foram soja, arroz de terras altas e milho introduzido com braquiária, com cada lavoura ocupando um terço da área destinada a agricultura. No período de inverno, a área estava ocupada com 75% de pecuária e 25% de lavoura, sempre feijão.

Principais parâmetros agrícolas

Registrou-se, ao longo do período estudado, as produtividades das culturas plantadas conforme o esquema de rotação. Foram coletadas as seguintes informações: área plantada, cultura alocada à área, produtividade por cultura, e quantidade de insumos utilizados, bem como seus custos associados.

Para o acompanhamento dos custos operacionais, relacionados ao processo produtivo, e dos custos relacionados como não-operacionais, frete e armazenamento, foram elaboradas tabelas que representam a dimensão energética da atividade. Aqui cabe ressaltar que o trabalho não contemplou nenhuma análise de viabilidade econômica. Os respectivos coeficientes energéticos foram buscados na melhor literatura atualizada disponível.

Com a finalidade de tornar o balanço energético representativo da realidade do Cerrado e das recomendações que se faz quando se pensa em integração de pastagens com agricultura, foram consideradas as culturas da soja e do milho introduzidas no sistema integrado. Estas culturas são amplamente utilizadas, de maior sucesso e com alto nível tecnológico, porém são diferentes na forma de condução e implantação. Soma-se a isto o fato de poderem ser diretamente utilizadas para produção de biocombustíveis, a primeira em biodiesel, a segunda em bioetanol, o que valoriza os projetos de introdução da agroenergia no Centro-Oeste brasileiro. Os componentes energéticos da implantação destas culturas podem ser acompanhados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

As culturas de safrinha se configuram como uma forma interessante de intensificação do sistema, porém não podem ser consideradas como componente essencial da integração lavoura-pecuária. Algumas vezes são introduzidas apenas uma vez a fim de viabilizar o estabelecimento de um bom 'stand' de pastagens, com base no poder da adubação residual. Assim, o feijão não foi incluído no balanço total. Alternativamente, uma série de experimentos estão sendo feitos na Embrapa visando a implementação de culturas como sorgo ou feijão em safrinha. Além da possibilidade de intensificação do sistema quanto à produção de alimentos e maximização dos lucros, o sorgo, por exemplo, viabiliza a produção de silagem com o objetivo de dar suporte à criação de gado em pasto.

Tabela 1. Componentes energéticos da fase agrícola de produção de soja com vistas à integração, para a região do Cerrado.

Operações	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
1. Pré-plantio			
Roundup	litros	3,0	1,26
2,4-D	litros	0,8	0,54
Óleo mineral	litros	0,5	0,02
Dessecação (trator + pulverizador)	h	0,2	0,16
Semente (milheto ou braquiária)	kg	20	0,03
Trator + plantadeira	h	0,6	0,57
2. Plantio			
Semente	kg	50	1,65
Fungicida (Carboxin + Thiran)	litros	0,3	0,12
Inoculante	dose	2,0	0,01
Adubação: 00-20-20	kg	500	0,62
Trator + Plantadeira/adubadeira	h	0,6	0,57
3. Tratos culturais			
Controle formigas (isca formicida)	kg	1,0	0,36
Herbicida pós-emergente (Lactofen)	litros	0,6	0,27
Herbicida pós-emergente (Clorimuron)	kg	0,05	0,02
Trator + pulverizador	h	0,2	0,16
Inseticida (Metamidofós)	litros	1,0	0,36
Inseticida (Permetrina)	litros	0,65	0,24
Fungicida (Carbedazim)	litros	0,5	0,15
Fungicida (Tebuconazole, 2x)	litros	1,0	0,3
Trator + pulverizador	h	0,4	0,32
4. Colheita			
Colheitadeira	h	0,8	0,64
5. Mão-de-obra			
Para os itens 1+2+3+4	d/h	1	0,26
6. Transporte e armazenamento			
Transporte	kg	28	0,184
7. Combustível			
Óleo diesel	litros	58	2,76
Total			11,574

Tabela 2. Componentes energéticos da fase agrícola de produção de milho integrada com pecuária, para a região do Cerrado.

Operações	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
1. Calagem			
Calcário	kg	500	0,59
Distribuição do calcário	h	0,2	0,04
2. Pré-plantio			
Roundup	litros	6,0	2,52
Dessecação (trator + pulverizador)	h	0,4	0,32
3. Plantio			
Semente milho	kg	20	0,66
Semente (braquiária)	kg	10	0,02
Tratamento semente (Carbofuram)	litros	0,4	0,16
Adubação: 04-20-20 + micro	kg	400	0,7
Trator + Plantadeira/adubadeira	h	0,5	0,48
4. Tratos culturais			
Controle formigas (isca formicida)	kg	1,0	0,36
Adubação de cobertura (Uréia)	kg	150	10,02
Aplicação do adubo, cultivo mecanizado	h	0,5	0,65
Herbicida pós-emergente (Atrazine)	litros	5,0	1,25
Trator + pulverizador	h	0,25	0,2
Inseticida (Clorpirifós)	litros	1,0	0,36
Espalhante adesivo	litros	0,5	0,02
Trator + pulverizador	h	0,25	0,2
5. Colheita			
Colheitadeira	h	0,8	0,64
6. Mão-de-obra			
Para os itens 1+2+3+4+5	d/h	0,7	0,18
7. Transporte e armazenamento			
Transporte	kg	30	0,2
8. Combustível			
Óleo diesel	litros	60	2,8
Total			22,026

Os resultados consideram apenas o valor energético final presente nos produtos agrícolas sem beneficiamento algum. No caso de as culturas serem também destinadas à produção de biocombustíveis se tem a situação presente na Tabela 3. Vale mencionar que um grande

residual de energia no farelo pode ser usada em alimentação animal e humana como fonte de energia e nutrientes de ótima qualidade.

Tabela 3. Processamento industrial da soja e do milho com o objetivo de produção de biocombustível e balanços energéticos das culturas.

Fator	Unidade	Quantidade	Energia (GJ)
Rendimento soja	kg	3120	63,941
Óleo de soja	kg	561,6	21,165
Farelo de soja		2558,4	42,776
Produção agrícola			(11,574)
Transesterificação industrial (biodiesel)			(4,730)
Balanço energético do biodiesel			1,42
Rendimento milho	kg	6720	101,122
Produção agrícola			(22,026)
Hidrólise e sacarificação do amido, fermentação industrial (Bioetanol)			(13,487)
Bioetanol	litros	2016	53,57
Balanço energético do bioetanol			1,51

Principais parâmetros da pecuária

O trabalho acompanhou a evolução no ganho de peso por animal e por área, bem como a lotação, ao longo do período estudado. Os animais participantes eram registrados e pertenciam a três raças zebuínas (Nelore, Brahman e Tabapuã), com idades padronizadas e oscilando no máximo em três meses.

Após serem selecionados e desmamados nas suas respectivas fazendas, os animais foram conduzidos para a área experimental na Embrapa Arroz e Feijão a fim de participarem do Teste de Desempenho de Touros Jovens. Assim, entraram no experimento no mês de junho, e permaneceram em recria por um período de 11 meses, ou 335 dias. O custo energético por animal associado à produção em sistema de recria pode ser acompanhado na Tabela 4. Os melhores animais permaneceram na área para terminação por um período adicional de 120 dias. Assim, o período total de criação animal no sistema integrado, incluindo recria e terminação, corresponde a 455

dias. A tabela 5 apresenta os componentes energéticos associados a cada animal do programa de terminação dos animais em estudo.

Tabela 4. Componente associado à produção dos animais em recria.

	Unidade	Quantidade	Valor total (R\$)	Energia (MJ)
Sanidade				
Clostridiose	dose	1	0,66	0,69
Botulismo	dose	2	1,68	1,756
Raiva bovina	dose	2	1,00	1,045
Febre aftosa	dose	2	1,90	1,986
IBR/BDV	dose	2	6,94	7,252
Leptospirose	dose	2	1,42	1,484
Vermifugação (Albathor)	ml	18	0,79	0,826
Ectoparasitas (Pour-on)	ml	30	1,32	1,379
Outros medicamentos			4,00	4,18
Nutrição				
Jun/Jul/Ago: Foscromo seca	kg	0,5	32,23	33,680
Set: Foscromo seca	kg	0,2	6,03	6,301
Out: Foscromo seca	kg	0,15	4,35	4,546
Nov: Foscromo água	kg	0,1	2,85	2,978
Dez: Foscromo água	kg	0,12	3,63	3,793
Jan: Foscromo água	kg	0,08	2,34	2,445
Fev: Fosbovi engorda	kg	0,08	2,40	2,508
Mar: Fosbovi engorda	kg	0,1	3,00	3,135
Abr: Fosbovi engorda	kg	0,15	4,50	4,703
Mai: Fosbovi engorda	kg	0,20	6,00	6,27
Mão-de-obra	animal	1	27,22	28,445
Total por animal			114,55	119,705
Lotação média	Animais/ha	3,52 (2 UA)	402,19	
Total por hectare				239,41
Ganho de peso	kg/dia	0,480		
Ganho de peso total por ha	kg	566,02		

Para certos componentes específicos não existem dados disponíveis de custo energético de produção, apenas o custo financeiro de aquisição. Deste modo, estimamos o valor energético de uma unidade monetária em decorrência da razão entre o consumo energético total do país indicado no último Balanço Energético Nacional (195,9

milhões de toneladas equivalentes de petróleo; BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2006), e o Produto Interno Bruto acumulado no mesmo período (R\$ 2.322.818.000.000,00; IBGE, 2006). Assim, temos que R\$1,00 corresponde a aproximadamente 1,045 MJ. Adotou-se esta estratégia apenas para produtos empregados em pequenas quantidades, incluídos em função do alto detalhamento do sistema, mas que possuem contribuição relativamente pequena nos cálculos do balanço energético. Este é o caso particular dos produtos sanitários empregados na produção animal. O componente energético dos demais produtos foi obtido de PIMENTEL (1980) e BODDEY et al. (2008).

Tabela 5. Componente associado à produção dos animais em terminação.

	Unidade	Quantidade	Valor total (R\$)	Energia (MJ)
Sanidade				
Predef	frasco	1	7,50	7,838
Banamine	frasco	1	24,00	25,08
Azium	frasco	1	10,50	10,973
Soro anti-ofídico	frasco	1	78,00	81,51
Botulismo	dose	1	0,23	0,240
Leptospirose	dose	1	1,00	1,045
Flunixin	frasco	1	18,00	18,81
Ciper (Pour-on)	litros	1	14,50	15,153
Mata bixeira	frasco	1	4,30	4,494
Tyladen	frasco	1	13,00	15,585
Terracotril	frasco	1	21,00	21,945
Unguento	frasco	1	10,50	10,973
Tylan	frasco	1	16,50	17,243
Tribissen	frasco	1	7,50	7,838
Nutrição				
Silagem de milho	ton	0,5	55,00	28,738
Concentrado	kg	120	0,45	56,43
Sal mineral 660	kg	2,0	1,04	2,174
Outros				
Balaio	unidade	1	20,00	20,9
Garfo	unidade	1	21,00	21,945
Transporte interno	animal	1	2,24	2,341
Total por animal				371,255
Lotação média		2 UA		
Total por hectare				742,51
Ganho de peso	kg/dia	0,854		
Ganho de peso total por ha		204,96		

Os bezerros melhorados entram no sistema de recria pesando em torno de 7,8 arrobas (117 kg) e ganham em torno de 0,480 kg por dia, durante um período total de 335 dias. A lotação média corrigida para este período é de 3,52 animais por hectare. Assim, o peso final médio de cada animal corresponde a 277,8 kg, para um ganho total de 566,02 kg em cada hectare.

Integração do Balanço Energético

Para elaborar a análise energética levou-se em conta uma safra de milho, uma safra de soja, uma etapa de recria e um ciclo de terminação dos animais em teste, deixando à parte uma safrinha com feijão. Todos os resultados foram padronizados para o período de um ano e para uma área referente a um hectare.

O Quadro 1 apresenta um horizonte de planejamento com base nas condições ideais de seqüência e sucessão cultural. A cultura do feijão em safrinha poderia ser substituída por sorgo ou outra cultura para o mesmo período, que o sistema sofreria pouca perturbação. Ressalta-se que o sistema Santa Fé deve ser respeitado e manejado adequadamente de modo a haver disponibilidade de forragem para a terminação e recria dos animais. Do mesmo modo, a rotação deve ocorrer a cada ano, com áreas de lavoura sendo sucedidas por pastagem e vice-versa.

Quadro 1. Horizonte de planejamento de um sistema integrado lavoura-pecuária para um ciclo de culturas anuais e pecuária.

JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
CULT.1	CULT.1	CULT.1	SAFR.	SAFR.	SAFR.	SAFR.	TERM.	TERM.	TERM.	CULT.1.	CULT.1
CULT.2	CULT.2	CULT.2	CULT.2			TERM.	TERM.	TERM.	TERM.		CULT.2
RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	TERM.	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA
RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA		RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA	RECRIA

O sistema global consome, durante o período de um ano, 34,58 GJ de energia, principalmente nas operações associadas às culturas agrícolas. Somente estas duas culturas, milho e soja, exportam, em seus grãos, 165,06 GJ de energia. Nestas condições, são produzidas 51,4 arrobas de carcaça animal, ou 771 kg de peso vivo. Obtém-se um saldo energético em cada ciclo completo do sistema integrado lavoura-pecuária de 130,48 GJ, e uma eficiência calculada em 4,77:1. Ao

considerar-se o produto animal oriundo da atividade integrada temos um acréscimo energético de mais 3,9 GJ total, por hectare.

Se o produto agrícola fosse todo transformado em combustível, ou seja, a soja em biodiesel e o milho em etanol, ainda assim se teria um saldo energético de 22,87 GJ.

Destaca-se positivamente que o sistema avaliado é sustentável do ponto de vista essencialmente energético. Isto demonstra, em primeiro lugar, a eficiência do componente vegetal na captação de energia solar e na utilização dos recursos naturais disponíveis. Também se pode considerar que a tecnologia associada ao sistema integrado lavoura-pecuária, para este caso, foi otimizada para máxima produção eficiente. Assim, sem muito dispêndio de recursos e energia na criação animal, se pode aproveitar o poder residual dos insumos e, se o sistema é bem compreendido e manejado, promover melhorias gerais na qualidade do solo garantindo a sustentabilidade e mantendo as produtividades.

Um dos pontos mais importantes a ser destacado neste trabalho é o reflexo que a adubação nitrogenada em cobertura no milho tem sobre o sistema global. Na tabela 2 percebe-se que esta prática responde pelo investimento de energia fóssil de 10,02 GJ. Isto corresponde a 28,98% de todo o custo energético do SILP avaliado. A relevância desta constatação reporta ao trabalho de destaque que a Embrapa Agrobiologia realiza no âmbito da fixação biológica de nitrogênio em culturas não-leguminosas.

A metodologia do balanço energético mostra-se passível de ser aplicada mesmo em sistemas complexos e de composição múltipla. É claro que para se ampliar o grau de confiabilidade na determinação da sustentabilidade é necessário que, além da apreciação econômica e energética, outras abordagens sejam feitas, principalmente no que se refere às emissões de gases de efeito estufa.

Conclusão

A análise dos balanços energéticos é uma ferramenta importante na definição possível da sustentabilidade de sistemas agrícolas, mesmo sistemas dinâmicos e complexos como a integração lavoura-pecuária. Todavia, a apreciação de entradas e saídas energéticas induz a uma abordagem mais ampla, contemplando o estabelecimento de um

inventário de energia baseado em balanços de massa e de energia, diretamente relacionados à aplicação da 1ª Lei da Termodinâmica ao longo das várias etapas do ciclo de vida dos biocombustíveis analisados, desde a sua produção agrícola, ou seja, a obtenção das matérias-primas, até à sua utilização final e retorno ao meio ambiente, processo este conhecido como “cradle to grave”, incluindo todas as possíveis atividades auxiliares e mesmo o transporte entre as etapas diversas. Os primeiros estudos de análise energética, publicados no início da década de Setenta deram origem ao desenvolvimento da metodologia de avaliação ambiental do ciclo de vida (“Life Cycle Assessment”, LCA) durante a década de Noventa. Mais recentemente, a publicação da metodologia sistematizada e ordenada na forma de normas da ISO, dentro da série ISO14000, permitiu um significativo avanço no seu reconhecimento público e promoção na aplicação a casos reais.

Esse trabalho avaliou um caso real de integração lavoura-pecuária e constatou que existe sustentabilidade do ponto de vista energético, ou seja, o fluxo de energia para a produção de grãos e carne é favorável, havendo grande eficiência na captação da energia solar neste complexo sistema biológico e correspondente acumulação desta energia em produtos agropecuários.

Referências Bibliográficas

BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. (2008) Bio-ethanol production in Brazil. Chapter 13. In: Pimentel, D. (Ed.), **Renewable energy systems: Environmental and Energetic Issues**. Springer, New York. In Press.

BOSSEL, H. Assessing viability and sustainability: a systems-based approach for deriving comprehensive indicator sets. **Conservation Ecology**, v. 5, n. 2, p.12, 2001.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2006: Ano Base 2005**. Relatório Final. Rio de Janeiro, EPE, 2006. 188 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.

CAUWEMBERG, N. V.; BIALA, K.; BIELDERS, C.; BROUKAERT, V.; FRANCHOIS, L.; GARCIA CIDAD, V.; HERMI, M.; MATHIJS, E.; MUYS, B.; REIJNDERS, J.; SAUVENIER, X.; VALCKX, J.; VANCLOOSTER, M.; VAN Der VEKEN., B.; WAUTHERS, E.; PEETERS, A. SAFE - A hierarchical framework for assessing the sustainability. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.120, p. 229–242, 2007.

CLEVELAND, C. J. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture 1910-1990. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 55, p. 111-121, 1995.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Trabalho foi apresentado no I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel em 2006.** p. 12-17, 2006. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/BalancoEnergetico.pdf>. Acesso em: mar. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados do ano 2006:** taxa acumulada ao longo do ano / taxa acumulada nos últimos quatro trimestres (em relação ao mesmo período do ano anterior). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/ctrivolvalcome4t06.pdf>. Acesso em: jan. 2007.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária.** Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

KUEMMEL, B.; LANGER, V.; MAGID, J.; NEERGAARD, A. de; PORTER, J. R. Energetic, economic and ecological balances of a combined food and energy system. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 15, n. 4-5, p. 407-416, 1998.

LEWANDOWSKI, I.; HÄTLEIN, M.; KALTSCHMITT, M. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. **Crop Science**, Madison, v. 39, p.184–193, 1999.

MACEDO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 77-81, 1996.

MELLO, L. M. M.; YANO, E. H.; NARIMATSU, K. C. P.; TAKAHASHI, C. M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de forragem e resíduo de palha após pastejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 121-129, 2004.

MUNIZ, L. C. **Avaliação econômica do sistema de integração lavoura-pecuária – sistema Santa-Fé**. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, GO.

PIMENTEL, D. **CRC handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. 475 p.

SANTOS, H. P.; LHAMBY, J. C. B.; IGNACKZAK, J. C.; SCHNEIDER, G. A. Conversão e balanço energético de sistemas de sucessão e de rotação de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2001.

SCHARMER, K.; GOSSE, G. **Energy balance, ecological impact and economics of bio-diesel production in Europe**. ALTENER program 41030/E/94-002-01, GET/INRA, 1996. 96 p.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

WOOD, B. J.; CORLEY, R. H. V. The energy balance of oil palm cultivation. In: PORIM INTERNATIONAL PALM OIL CONFERENCE, Kuala Lumpur, Malaysia, 1991. **Proceedings...** Kuala Lumpur, Malaysia: Oil Research Institute of Malaysia, 1991. p.130-143.



Agrobiologia

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

