

Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças

Jacimar Luiz de Souza¹; Vicente Wagner D Casali²; Ricardo HS Santos²; Paulo R Cecon²

¹INCAPER—Centro Regional Centro-Serrano, 29375-000 Venda Nova do Imigrante-ES; ²UFV, 36570-000 Viçosa-MG; jacimarsouza@yahoo.com.br

RESUMO

Os insumos e serviços utilizados na produção vegetal representam custo energético. Dependendo desses fatores e das produtividades obtidas, a conversão da produção em energia determinará a eficiência energética do sistema. A agricultura orgânica somente atingirá a missão de preservação ambiental se tiver comprovada sustentabilidade energética. Neste trabalho, objetivou-se caracterizar os balanços energéticos dos cultivos orgânicos e analisar sua sustentabilidade, em comparação aos sistemas convencionais. Monitoraram-se campos de produção de dez culturas, de 1991 a 2000 em Domingos Martins-ES. Os dados do sistema convencional foram obtidos pelas médias dos coeficientes técnicos da região. Quantificaram-se os coeficientes técnicos, convertendo suas grandezas físicas em equivalentes energéticos, expressos em kcal. O sistema orgânico gastou 4.571.159 kcal ha⁻¹ e apresentou 12.696.712 kcal ha⁻¹ de energia inserida na colheita, mostrando balanço médio de 2,78. Esse valor foi similar ao obtido no sistema convencional (1,93). As participações dos componentes nos gastos do sistema orgânico foram embalagem (35,8%), composto orgânico (17,2%), irrigação (12,6%), sementes/mudas (12,4%) e mão-de-obra (11,0%), serviços mecânicos (5,0%) e frete (4,5%). Se os custos com embalagens fossem eliminados, os gastos do sistema orgânico seriam reduzidos para 2.930.113 kcal ha⁻¹, aumentando sua eficiência. A maioria dos cultivos orgânicos pode ser considerada sustentável em transformação de energia, com balanços superiores a 1,00 e produção média diária de 80.421 kcal ha⁻¹ por dia, superior à necessidade mínima de 58.064 kcal ha⁻¹.

Palavras-chave: Agricultura orgânica; produtividade; sistemas de cultivo; balanço energético.

ABSTRACT

Energetic balance and sustainability analysis in the organic production of vegetable crops

The inputs used in crop production represent an energetic cost. Depending on the inputs and on the achieved yields, the conversion of the harvest into energy will determine the energetic efficiency of the system. Organic agriculture will fully meet the goal of environmental conservation only if its energetic sustainability is accomplished. The objectives of this study were to characterize the energetic balance of organic vegetable production and to analyze its energetic sustainability, compared to conventional vegetable crop production systems. Field data were collected from ten vegetable crop fields, from 1991 to 2000 in Domingos Martins, Espírito Santo State, Brazil. Data from the conventional system were obtained in the region. The technical coefficients of the systems were quantified and converted to an energy equivalent (kcal). The general average of the organic system was an input of 4,571,159 kcal ha⁻¹ and an output of 12,696,712 kcal ha⁻¹ at harvest, presenting an energetic balance of 2.78. This balance was similar to the conventional system (1.93). The components of the energetic inputs in the organic system were packaging (35.8%), organic compost (17.2%), irrigation (12.6%), seeds/seedlings (12.4%) and labor (11.0%), machinery (5.0%) and transport (4.5%). If package costs were removed, the energetic inputs on the organic system would be reduced to 2,930,113 kcal ha⁻¹, greatly improving its energetic efficiency. Most of the crops could be considered sustainable regarding energy conversion, presenting balances higher than 1.00. The daily average energy yield in the organic system was 80,421 kcal ha⁻¹ day⁻¹ and was considered sustainable, higher than the minimum estimated calories need (58.064 kcal ha⁻¹).

Keywords: Organic agriculture; yield; crop systems; energetic balance.

(Recebido para publicação em 5 de novembro de 2007; aceito em 17 de outubro de 2008)

(Received in November 5, 2007; accepted in October 17, 2008)

Visando garantir alimentação, proteção, transporte, saúde, diversão e outras funções e bens de consumo do ser humano, muita energia é gasta, independente da forma e da fonte energética. Nos agroecossistemas, a energia está na forma de radiação solar que alimenta a fotossíntese, gerando biomassa; na forma de trabalho humano, animal ou mecânico; ou ainda contida em combustíveis, adubos, ferramentas, sementes e demais insumos da agricultura (Mello, 1989).

Nas últimas décadas, a agricultura tem priorizado a alocação de quantidades cada vez maiores de energia nos sistemas produtivos, visando aumentar os rendimentos físicos. No modelo de produção mais usual atualmente, a quantidade de energia investida na produção de alimentos, muitas vezes tem sido maior do que o retorno conseguido em valor energético dos produtos, proporcionando baixa eficiência e balanço negativo (Pimentel *et al.*, 1990;

Gliessman, 2000). Segundo MAFF (2000), citado por Ozkan (2004), sistemas orgânicos de produção, que priorizam o uso de insumos de menores custos energéticos que aqueles industrializados, tendem ao gasto energético menor e eficiência maior que sistemas convencionais.

O Brasil gasta 2,6 kcal ao produzir 1,0 kcal de alimentos (balanço energético = 0,38). Os países desenvolvidos já estão gastando mais de 5,0 kcal;

os EUA gastam 9,0 kcal e o Japão 12,0 kcal. É interessante notar que nos diversos países, à medida que a demanda energética aumenta na agricultura, também aumentam as necessidades de fosfato e do emprego de agrotóxicos, e vice-versa (Almeida, 2005).

Os sistemas de monocultura do modelo convencional de produção, baseado na agroquímica, causam redução na eficiência energética, devido à pequena cobertura do solo (que induz perdas por evaporação e por erosão), associado à grande dependência de insumos externos (adubos minerais e agrotóxicos, ambos de alto custo energético). Nesse sentido, o emprego de práticas que reduzam os problemas delineados pode ser a alternativa para o aumento da eficiência dos sistemas produtivos, especialmente pelo emprego de rotações de cultura e manejo de espécies próprias para adubação verde, para cobertura do solo e fixação de carbono e nitrogênio (Uri *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2002).

Ferraro Júnior (1999) argumenta que a transição para a sustentabilidade, pressupõe a identificação de sistemas eficientes em longo prazo, e que avaliações meramente financeiras de sistemas têm horizonte demasiadamente curto pois estão sujeitas a distorções impostas pelas flutuações do mercado, o que não é o caso das avaliações em torno dos fluxos de energia. Por isto, as análises energéticas têm proporcionado maior segurança nos estudos de longo prazo, assim como na comparação entre culturas, sistemas e atividades agropecuárias, desenvolvidas em diversos locais, que possuem características próprias de cada região e país.

A definição de sustentabilidade é muito variável, englobando conceitos que abordam simples ajustes no atual padrão produtivo, até aqueles que abordam conceitos de longo prazo. Porém, análises de sustentabilidade devem tomar por base a eficiência energética dos sistemas. Portanto, sistemas orgânicos de produção, que sejam tecnicamente eficazes, ecologicamente corretos, economicamente viáveis e socialmente justos, tornam-se insustentáveis se não forem energeticamente eficientes. Por este motivo, o presente trabalho teve por

objetivos caracterizar os balanços energéticos e analisar a sustentabilidade energética dessa produção, ao longo de dez anos, comparadas ao sistema convencional, na região serrana do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental de agricultura orgânica do Centro Regional de Desenvolvimento Rural do INCAPER, abrange 3 ha e localiza-se na região serrana do Espírito Santo, na altitude de 950 m, no município de Domingos Martins. Nesta região, a temperatura média das máximas nos meses mais quentes está entre 26,7 e 27,8°C e a média das mínimas nos meses mais frios entre 8,5 e 9,4°C. Os 16 talhões dessa área foram caracterizados individualmente desde o início do projeto e os plantios das culturas em rotação nestes talhões foram utilizados como repetições temporais para medir o desempenho produtivo das diversas espécies olerícolas no sistema orgânico.

Os métodos de produção, além de seguirem os princípios da Agroecologia (Souza & Resende, 2003), foram aplicados conforme as determinações da legislação brasileira (Lei nº 10.831, do Ministério da Agricultura, de 23/12/03). Entre os métodos empregados, destacam-se: compostagem orgânica; adubação verde; manejo de ervas espontâneas; cobertura viva e morta; rotação e sucessão de culturas, controle alternativo de pragas e doenças.

A mensuração energética deste trabalho consistiu na transformação de todos os coeficientes técnicos (materiais, insumos e serviços) em unidades de energia ou unidades calóricas equivalentes. Por não encontrar padronização definida na bibliografia nacional e internacional consultada, a unidade de medida de energia foi a Quilocaloria (1 kcal = 1.000 cal), por ser unidade básica de fácil compreensão. O limite de contabilidade energética de cada cultura compreendeu as fases desde o preparo do solo até a entrega do produto no mercado, englobando os gastos com embalagem e frete. Os coeficientes técnicos (indicadores físicos) foram propostos por Souza (2005), no acompanhamento e

monitoramento do sistema orgânico de produção de 10 culturas olerícolas, na área experimental de agricultura orgânica do INCAPER. As produções orgânicas, extrapoladas para 1 ha de cada hortaliça, foram obtidas de 1991 a 2000.

Foram comparadas as quantidades de energia embutidas apenas nos produtos comerciais (produtividade comercial, após a seleção e classificação), relacionando-se com o total de energia investida na produção (embutida nos insumos, serviços, equipamentos e frete), obtendo-se assim o balanço energético de cada plantio de cada cultura. Os números de plantios, que originaram as médias apresentadas neste trabalho foram: abóbora (12), alho (14), batata (8), batata-baroa (9), batata-doce (13), cenoura (17), couve-flor (12), repolho (15), taro (6) e tomate (9). Os valores obtidos para o balanço energético podem ser menores que 1,0 (indicando balanço negativo, pois a energia gerada na forma de produtos foi menor do que aquela consumida no processo produtivo); iguais a 1,0 (indicando balanço nulo, pois a energia gerada na forma de produtos foi igual àquela consumida no processo produtivo; ou maiores que 1,0 (indicando balanço positivo, pois a energia gerada na forma de produtos foi maior do que aquela consumida no processo produtivo).

Como referenciais comparativos foram utilizados os coeficientes técnicos médios dos sistemas convencionais de produção das mesmas espécies de hortaliças e a produtividade média usualmente alcançada na região (Souza, 2005). Estes componentes foram transformados em valores calóricos, de forma análoga à metodologia aplicada no sistema orgânico de produção. Estes dados energéticos do sistema convencional constituíram a referência populacional, com a qual foram analisados comparativamente os desempenhos dos cultivos orgânicos.

Os valores calóricos adotados para insumos, materiais, produtos e serviços estão detalhados em Souza (2006) e apresentados resumidamente a seguir: **Insumos orgânicos** - adotou-se o valor de 15 kcal kg⁻¹ para resíduos vegetais e esterco de gado e o valor de 30 kcal kg⁻¹ para outras fontes de esterco. Para o

composto orgânico e o biofertilizante enriquecido, realizaram-se cálculos do processo de produção local. O composto totalizou 25.700 kcal kg⁻¹ a 50% de umidade final (forma utilizada nas adubações das culturas). O biofertilizante líquido somou 13 kcal L⁻¹; **Sementes e mudas** - Para sementes botânicas e propágulos vegetativos multiplicadas no próprio sistema orgânico, foram feitos cálculos dos gastos envolvidos nos processos, inserindo gastos com mão-de-obra na seleção, armazenamento e preparo das sementes e propágulos. Baseou-se nos valores de 2400 kcal dia⁻¹ para a mão-de-obra, 0 kcal kg⁻¹ para restos culturais, sugerido por Ferraro Júnior (1999) e nos conteúdos calóricos dos produtos sugeridos por Franco (1999). Quanto às sementes adquiridas no mercado (abóbora, cenoura, couve-flor e repolho), optou-se pelo método que avalia os custos energéticos pelos custos financeiros da matriz energética brasileira, segundo Mello (1989). A obtenção do valor energético da moeda se deu pela razão entre o consumo de energia primária (kcal) e o PIB (Produto Interno Bruto, em Reais), no ano de 2004, ou seja, 1.008,4 kcal Real⁻¹; **Adubos minerais e corretivos** - nitrogênio (14.930 kcal kg⁻¹ (Felipe Júnior *et al.*, 1984, citados por Ferraro Júnior, 1999)); fósforo e potássio (3.000 kcal e 1.600 kcal kg⁻¹ de P₂O₅ e de K₂O, respectivamente (Lockeretz 1980)); micronutrientes (1.291 kcal kg⁻¹, estimado pela matriz energética brasileira de 1.008,4 kcal R\$⁻¹); calcário dolomítico (132.822 kcal t⁻¹ (Macedônio & Picchioni, 1985)); cal virgem (2.408 kcal kg⁻¹ (Mello, 1989)); sulfato de cobre (400 kcal kg⁻¹, valor similar ao sulfato de potássio e magnésio, relatados por Ferraro Júnior, 1999); **Calda bordalesa** - 18,6 kcal L⁻¹ (cálculo baseado nos componentes e serviços); **Óleo diesel** - 8.484 kcal L⁻¹ (MME, 2005); **Agrotóxicos** - herbicidas (83.572 kcal L⁻¹); inseticidas (60.393 kcal L⁻¹); fungicidas (50.083 kcal kg⁻¹); outros pesticidas: acaricidas, espalhantes (64.683 kcal por kg ou L (Pimentel, 1980)); **Energia elétrica** - 860 kcal kwh⁻¹, publicado no Boletim Energético Nacional de 2004, pelo Ministério das Minas e Energia (MME, 2005); **Serviços mecânicos** - aração (136.010 kcal ha⁻¹), gradagem (47.976

kcal ha⁻¹) e destorroamento com rotativa de micro-tractor (10.035 kcal ha⁻¹ (Ferraro Júnior, 1999)); **Serviços manuais** - os gastos calóricos das diversas atividades executadas foram obtidos por estimativa, proporcionalmente ao esforço necessário na realização de cada atividade, balizados no valor médio de 2.400 kcal dia⁻¹ (300 kcal hora⁻¹ (Gliessman, 2000; Ferraro Júnior, 1999)); **Irrigação** - os valores calóricos foram estimados para cada cultura, baseando-se nos dados médios do consumo de água na irrigação e nos valores médios de 0,131 kwh por m³ de água e 860 kcal por kwh (Lima *et al.*, 2005); **Embalagens plásticas** - baseou-se no peso das embalagens e no valor energético dos plásticos (inclusive isopor/poliestireno), 9.000 kcal kg⁻¹, segundo Sakurai (2004) e IPT (2005); **Caixas e engradados de madeira** - valor calculado em 75 kcal por unidade, para cada utilização (considerou-se a re-utilização em 30 vezes). Baseou-se nos gastos para cada unidade, na base de 3 kg de madeira processada (597 kcal kg⁻¹), 0,25 hora de serviço (500 kcal hora⁻¹) e 30 gramas de pregos (11.090 kcal kg⁻¹); **Frete** - 880 kcal por t km⁻¹, obtido pela razão entre o custo energético total do setor, relatados no BEN 2005 (MME, 2005) e o volume de carga transportada (ANNT, 2005); **Valor calórico dos produtos** - utilizaram-se os valores médios descritos por Franco (1999), tendo por base a massa fresca das hortaliças.

A análise de sustentabilidade energética foi baseada no atendimento dos índices mínimos em dois aspectos: 1) No sistema de produção deve haver saldo de energia, isto é, o conteúdo de energia nos produtos colhidos (saídas) deve ser igual ou superior aos seus próprios gastos (entradas), com balanço energético igual ou superior a 1,00. 2) A produção de energia por unidade de área deve ser igual ou superior a 58.064 kcal ha⁻¹ por dia. Este índice baseia-se na necessidade *per capita* de 3.000 kcal dia⁻¹, na demanda mínima de energia para atender à subsistência de 6 bilhões de pessoas (18 x 10¹² kcal dia⁻¹) e na área cultivada no mundo (0,31 x 10⁹ ha), conforme Ferraro Júnior (1999).

As variáveis analisadas foram: produtividade, saída de energia, entrada de

energia, balanço energético e participação dos componentes nos gastos totais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtividades e Saídas de energia - As produtividades e os respectivos conteúdos de energia de cada hortaliça nos sistemas orgânico e convencional foram semelhantes. Não houve diferença estatística na maioria das espécies, exceto para o repolho que produziu mais biomassa e energia no cultivo orgânico e para o tomate, que produziu mais biomassa e energia no cultivo convencional. Verificou-se média de 12.696.712 kcal ha⁻¹ exportada (saída) do sistema orgânico, estatisticamente igual à exportação do sistema convencional, que foi de 13.025.950 kcal ha⁻¹ (Tabela 1).

Entradas de energia - Os gastos de energia (entradas) foram significativamente menores no cultivo orgânico de abóbora, alho, batata, couve-flor, repolho e tomate, enquanto os cultivos orgânicos de batata-baroa, batata-doce, cenoura e taro apresentaram gastos similares ao convencional (Tabela 1). Na comparação média entre os sistemas, o gasto de energia foi considerado estatisticamente igual (orgânico = 4.571.159 kcal ha⁻¹ e convencional = 6.766.464 kcal ha⁻¹).

O menor gasto energético foi verificado para o cultivo orgânico da abóbora (1.598.512 kcal ha⁻¹) e o maior foi verificado no cultivo convencional de tomate (16.641.459 kcal ha⁻¹) nos plantios a campo. O total dos gastos energéticos para cultivo convencional de tomate em ambiente protegido, relatado por Ozkan *et al.* (2004), foi de 30.431.381 kcal ha⁻¹, comprovando que o uso de insumos industriais eleva o dispêndio energético para a produção de alimentos.

Verificou-se que o maior aporte de energia, não necessariamente se relaciona com balanço energético menos favorável. Contrariamente, dentro dos limites avaliados, verificou-se que maiores entradas de energia na produção de todas as culturas relacionaram-se diretamente com maiores balanços energéticos. Isto se deve ao fato do aumento na produtividade das hortaliças promover aumento nas entradas de ener-

gia, pelo aumento no gasto de mão-de-obra na colheita e maiores gastos com embalagens e com frete. Porém, o aumento demandado nas entradas é menor que o aumento observado nas saídas de energia, favorecendo então o balanço energético.

Balanço energético - Na Tabela 1 estão os balanços energéticos de cada espécie, na comparação entre os dois sistemas de produção. Foi comprovada maior eficiência energética em favor do cultivo orgânico para abóbora, alho, repolho e tomate. Apenas o cultivo convencional de cenoura apresentou-se mais eficiente que o cultivo orgânico. Nas demais culturas, os sistemas se equivaleram em eficiência.

O balanço energético médio do sistema orgânico foi 2,78, contra 1,93 do sistema convencional, não diferenciando-se estatisticamente pelo teste 't', ao nível de 5% de probabilidade. Isto possivelmente foi devido ao pequeno número de amostras e à alta variabilidade nos dados e está coerente com os resultados relatados por MAFF (2000), citado por Ozkan *et al.* (2004), que relatou índice de balanço energético de 5,31 para cultivos orgânicos de hortaliças. Este índice se assemelha aos observados neste trabalho para o cultivo orgânico de repolho (4,07), de batata-baroa (4,38) e de batata-doce (6,58).

Ressalta-se que as embalagens plásticas, por representarem alto dispêndio energético (exceto para a cultura da abóbora), foram as principais responsáveis pela limitação da eficiência nos cultivos orgânicos, e que a redução ou eliminação destes custos favoreceriam grandemente o balanço energético (Figura 1).

Pimentel & Burgess (1980) também comprovaram que o aporte de insumos industrializados e mecanização, aumentaram sobremaneira o aporte de energia na cultura do milho, reduzindo o balanço energético. Estes resultados são similares àqueles relatados por Mello (1989), quando avaliou a eficiência energética de quatro sistemas de produção de milho em Santa Catarina. Foi verificado que a produção de milho com adubo orgânico e colheita manual teve balanço energético de 6,61 calorias por unidade. No sistema com adubo mine-

Tabela 1. Médias do desempenho produtivo e energético de dez culturas olerícolas em sistemas de produção orgânico e convencional de 1991 a 2000 (productive and energy acting averages comparison of ten vegetable crops cultivated under organic and conventional production systems, from 1991 to 2000). Domingos Martins, INCAPER, 2006¹.

Culturas	Sistemas	Produtividade comercial (kg ha ⁻¹)	Saídas de energia (B) (mil kcal ha ⁻¹)	Entradas de energia (A) (mil kcal ha ⁻¹)	Balanços (B/A)
abóbora	orgânico	7.325 a	2.930,3 a	1.598,5 b	1,81 a
	convencional	8.500 a	3.400,0 a	3.990,0 a	0,85 b
alho	orgânico	6.102 a	8.177,0 a	4.539,3 b	1,72 a
	convencional	6.130 a	8.509,0 a	7.083,4 a	1,20 b
batata	orgânico	19.451 a	15.269,1 a	5.225,8 b	2,74 a
	convencional	25.000 a	19.625,0 a	9.918,1 a	1,98 a
batata-baroa	orgânico	15.355 a	19.204,2 a	4.095,2 a	4,38 a
	convencional	15.000 a	18.750,0 a	3.625,5 a	5,17 a
batata-doce	orgânico	21.630 a	27.145,1 a	3.873,0 a	6,58 a
	convencional	18.000 a	22.590,0 a	3.500,2 a	6,45 a
cenoura	orgânico	23.535 a	11.767,5 a	6.057,7 a	1,85 b
	convencional	28.000 a	14.000,0 a	6.036,5 a	2,32 a
couve-flor	orgânico	13.686 a	4.105,8 a	3.325,0 b	1,19 a
	convencional	15.000 a	4.500,0 a	4.504,8 a	1,00 a
repolho	orgânico	55.320 a	13.830,0 a	3.351,9 b	4,07 a
	convencional	47.102 b	11.775,5 b	7.275,4 a	1,62 b
taro	orgânico	23.805 a	15.901,9 a	4.978,5 a	3,14 a
	convencional	20.000 a	13.360,0 a	5.089,2 a	2,63 a
tomate	orgânico	34.545 b	8.636,3 b	8.665,6 b	0,97 a
	convencional	55.000 a	13.750,0 a	16.641,5 a	0,83 b
média	orgânico	22.075 A	12.696,7 A	4.571,2 A	2,78 A
	convencional	23.795 A	13.026,0 A	6.766,5 A	1,93 A

¹Médias marcadas com a mesma letra, nas colunas dentro de cada cultura e dentro da média, não diferem entre si pelo teste 't', ao nível de 5% de probabilidade (means followed by the same letter, in the columns for each crop and means, did not differ from each other, 't' test, 5%).

ral e colheita mecânica, os gastos de energia foram maiores, fazendo com que o balanço energético fosse reduzido para 4,55 calorias por unidade.

Participação dos componentes - As participações detalhadas dos componentes nos custos calóricos de cada cultura no sistema orgânico e no sistema convencional estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. As médias de participações nos sistemas orgânico e convencional estão ilustradas na Figura 1. A embalagem foi o componente de maior custo energético no sistema orgânico, com média de 35,8%. No sistema convencional, as embalagens representaram apenas 4,0% e os adubos minerais foram os mais onerosos, somando 45,8% do total, concordando com Gândara (1998) quando verificaram que os adubos minerais foram os componentes que mais oneraram energeticamente o cultivo convencional de alface e beterraba.

A participação da adubação orgânica com composto variou de 9,2% no tomate até 24,1% na abóbora, encerrando uma média de 17,2% no sistema orgânico, com o desvio padrão de 5,58. Gândara (1998), estudando balanços energéticos no sistema orgânico de produção de alface e beterraba, no Distrito Federal, verificou que o composto orgânico representou 78% e 76% dos custos energéticos da produção de 1 ha dessas culturas, respectivamente. Estes índices são extremamente altos quando comparados aos obtidos neste estudo, o que é plenamente justificável, pois no trabalho de Gândara (1998) observou-se diferença metodológica em três aspectos: 1) a contabilização energética foi realizada apenas na fase de campo, não se considerando a fase de colheita, embalagem e frete, como no presente caso; 2) a dosagem de composto contabilizada na alface e na beterraba foi 134,0 t ha⁻¹,

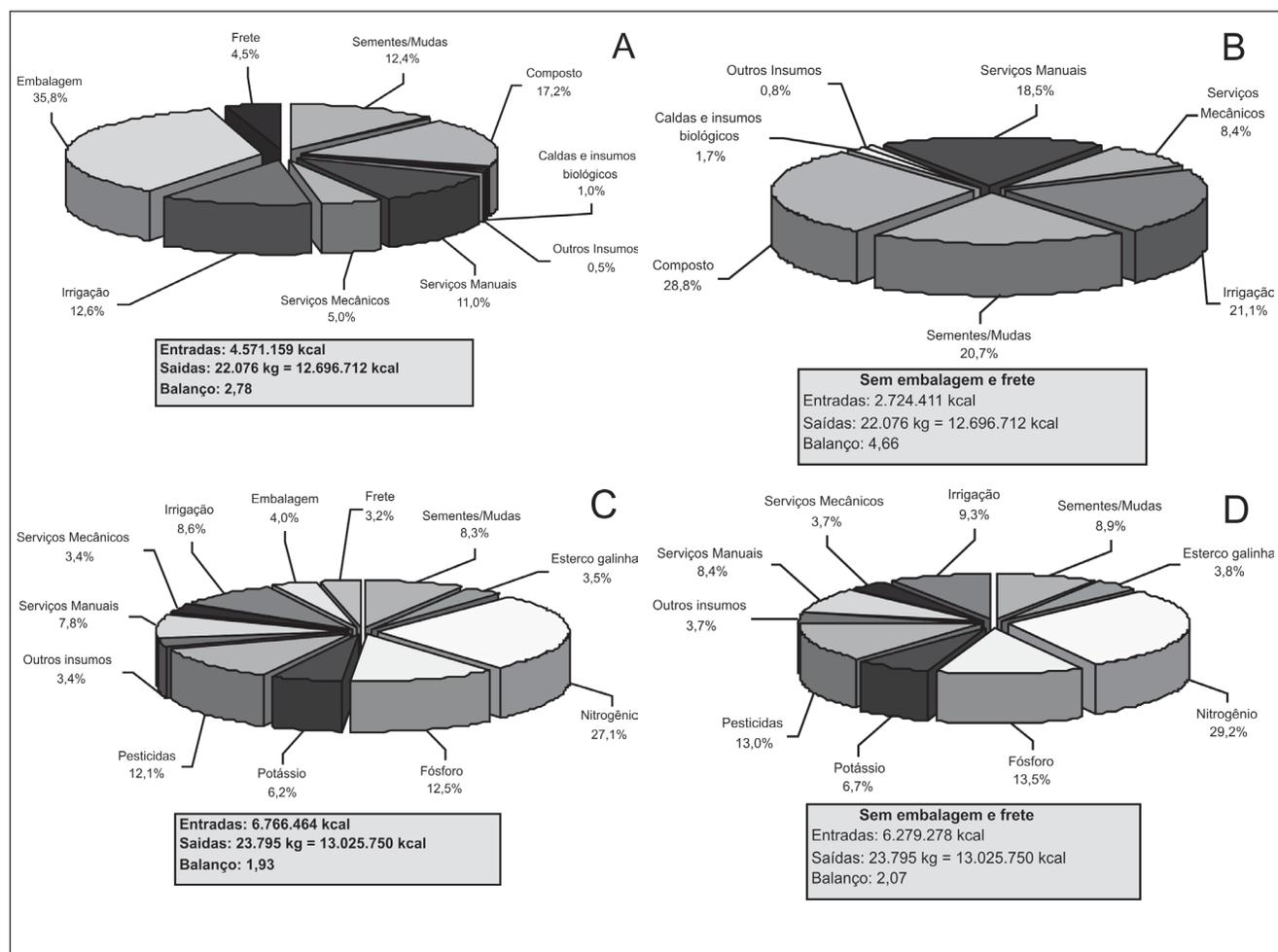


Figura 1. Média da participação relativa dos componentes nos custos calóricos da produção de hortaliças, em dois sistemas de cultivo (relative average participation of the components in the caloric costs of the vegetables production in two cultivation systems): (A) orgânico com embalagem e frete (organic with packaging and freight); (B) orgânico sem embalagem e frete (organic without packaging and freight); (C) convencional com embalagem e frete (conventional with packaging and freight); (D) convencional sem embalagem e frete (conventional without packaging and freight). Domingos Martins, INCAPER, 2006.

Tabela 2. Participação porcentual dos componentes nos custos energéticos totais de dez culturas olerícolas em sistema orgânico (percentual participation of the components in the total energy costs of ten vegetable crops in organic production system). Domingos Martins, INCAPER, 2006.¹

Culturas	Componentes (%)							
	Composto	Sementes ou mudas	Caldas e insumos	Serviço mecânico	Mão obra	Irrigação	Embalagem	Frete
abóbora	24,1	25,6	0,0	11,5	7,8	22,6	4,4	4,0
alho	17,2	25,7	2,7	4,1	18,4	12,3	18,5	1,1
batata	15,3	19,2	3,0	3,6	10,6	13,8	31,4	3,1
batata-baroa	13,8	1,0	0,0	4,9	13,3	13,6	50,3	3,1
batata-doce	21,5	1,5	0,0	5,4	10,9	8,8	47,3	4,6
cenoura	13,7	8,6	0,0	3,4	9,4	8,4	53,2	3,3
couve-flor	23,6	1,9	0,0	5,6	8,3	14,5	42,6	3,5
repolho	23,3	12,3	0,0	5,5	10,3	14,2	20,1	14,3
taro	10,5	28,2	0,0	3,7	9,4	10,3	33,8	4,1
tomate	9,2	0,1	9,0	2,2	12,0	7,9	56,2	3,4
média	17,2	12,4	1,5	5,0	11,0	12,6	35,8	4,5
desvio padrão	5,6	11,4	-	2,5	3,1	4,3	17,2	3,6
C.V. (%)	32,4	91,9	-	50,8	27,7	34,2	48,1	80,5

¹Os valores, para cada cultura, são médias de vários cultivos no período de 1991 a 2000 (values, for each vegetable crop are averages of the fields, from 1991 to 2000).

Tabela 3. Participação porcentual dos componentes nos custos energéticos totais de dez culturas olerícolas em sistema convencional (percentual participation of the components in the total energy costs of ten vegetable crops in conventional production system). Domingos Martins, INCAPER, 2006.¹

Culturas	Componentes (%)									
	Sementes ou mudas	Esterco galinha	Adubos N-P-K	Pesticidas	Outros insumos	Mão obra	Serviços mecânicos	Irrigação	Embalagem	Frete
abóbora	10,3	3,0	49,4	10,6	4,6	3,2	4,6	9,0	3,4	1,9
alho	16,3	4,2	33,6	18,2	3,0	11,1	2,6	7,8	2,4	0,8
batata	9,7	0,0	47,5	21,8	1,8	4,9	1,9	7,0	3,2	2,2
batata-baroa	1,0	4,1	18,9	32,1	5,1	14,8	5,1	14,0	1,3	3,6
batata-doce	1,5	4,3	46,5	4,8	5,3	9,8	5,5	9,0	8,8	4,5
cenoura	8,0	4,0	55,9	4,9	3,1	7,6	3,2	7,8	1,4	4,1
couve-flor	1,3	4,0	62,2	2,7	4,0	6,1	4,1	10,6	2,1	2,9
repolho	5,6	3,3	53,7	5,0	2,5	5,1	2,5	6,5	10,1	5,7
taro	27,3	5,9	28,7	0,0	3,6	7,7	3,6	10,0	6,7	3,5
tomate	2,0	1,8	57,9	21,0	1,1	7,5	0,8	4,0	1,0	2,9
média	8,3	3,5	45,8	12,1	3,4	7,8	3,4	8,6	4,0	3,2
desvio padrão	8,34	1,6	-	10,56	1,38	3,4	1,48	2,68	3,3	1,4
C.V. (%)	100,0	46,4	41,0	87,2	40,6	43,6	43,7	31,3	81,6	43,6

¹ Os valores, para cada cultura, são médias do sistema convencional da região, no ano 2000 (values, for each vegetable crops are averages of the conventional system of the region, in 2000).

ao passo que nas espécies aqui avaliadas, empregou-se 15 a 30 t ha⁻¹; 3) o valor calórico por t do composto foi 52.940 kcal, contra um valor de 25.700 kcal adotado neste trabalho.

Os componentes destinados à fertilização participaram de forma bastante diferenciada nos custos energéticos dos dois sistemas. No sistema orgânico somaram 17,2%, com emprego apenas de composto orgânico (Figura 1A), ao passo que no sistema convencional somaram 49,3%, com uso de esterco de galinha (3,5%) e adubos minerais (45,8%) (Figura 1C).

As participações dos componentes, considerando apenas a fase de campo (sem contabilizar embalagem e frete), estão apresentadas nas Figuras 1B (sistema orgânico) e 1D (sistema convencional). Verifica-se que o total de custos no sistema orgânico é reduzido de 4.571.159 kcal ha⁻¹ a 2.724.411 kcal ha⁻¹, ou seja, diminuição de 40,4%. No sistema convencional, pelo fato de já possuir gasto calórico pequeno com embalagens, esta redução seria menos intensa, em torno de 7,2% (de 6.766.464 kcal ha⁻¹ para 6.279.278 kcal ha⁻¹).

No sistema orgânico, a grande redução dos gastos, principalmente ocasionado pela ausência das embalagens, elevaria a eficiência energética, aumentando o balanço de 2,78 até 4,66 kcal kcal⁻¹. A participação dos principais componen-

tes ficaria assim: composto orgânico (28,8%), irrigação (21,1%), sementes e mudas (20,7%) e serviços manuais (18,5%).

Destaca-se que, na avaliação em que se inseriu o custo energético de embalagem e frete, a mão-de-obra situou-se na 5ª posição em termos de dispêndio de energia, e na avaliação sem inserir embalagem e frete, situou-se na 4ª posição, portanto não sendo considerado componente limitante energeticamente em cultivo orgânico de hortaliças.

Os elevados custos energéticos das embalagens nos cultivos orgânicos induzem a três reflexões importantes: 1) a cadeia de alimentos orgânicos demonstra que a produção tem caráter agroecológico e orgânico, mas o mercado mantém toda estrutura convencional, não priorizando redução de custos energéticos; 2) reforça a importância de priorizar vias de comercialização de maior aproximação do produtor com o consumidor, sem emprego de embalagens plásticas, através de feiras livres e entregas por cestas; 3) confirma a necessidade de desenvolvimento de alternativas de embalagens ecológicas, para redução da poluição ambiental e minimização de custos energéticos na produção orgânica.

Análise de sustentabilidade - No aspecto referente ao saldo de energia

gerado pelo balanço energético, observaram-se dados bastante variáveis, tanto entre as culturas como entre os sistemas (Tabela 4). No sistema orgânico, verificaram-se valores de 0,97 da cultura do tomate até 6,58 da cultura da batata-doce. No sistema convencional, verificaram-se valores de 0,83 da cultura do tomate até 6,45 da cultura da batata-doce. A maioria dos cultivos foi sustentável em transformação de energia, à exceção dos cultivos de abóbora no sistema convencional e de tomate em ambos os sistemas.

No sistema orgânico, constatou-se que as produtividades necessárias para que os balanços energéticos sejam iguais a 1,00 foram relativamente baixas, tais como 12.722 kg ha⁻¹ para a cenoura e 13.592 kg ha⁻¹ para o repolho. No sistema convencional necessitaram-se rendimentos maiores para se alcançar esta sustentabilidade, devido aos níveis elevados de aportes de energia, pelo emprego de insumos industrializados.

Quanto ao aspecto referente à quantidade de energia produzida por unidade de área (Tabela 5), a média do sistema orgânico foi 80.421 kcal ha⁻¹ por dia, considerada sustentável em nível de subsistência. As produções calóricas individuais de todas as culturas também

Tabela 4. Produtividades, balanços energéticos e produtividades mínimas para balanços iguais a 1,00 (yield, energy balance and minimum yield for balance similar to 1,00). Domingos Martins, INCAPER, 2006.

Culturas	Sistemas	Produtividade média alcançada (kg ha ⁻¹)	Balanco energético alcançado (kcal kcal ⁻¹)	Produtividade para balanço energético igual a 1,00 (kg ha ⁻¹)
abóbora	orgânico	7.326	1,81	4.048
(<i>Cucurbita moschata</i>)	convencional	8.500	0,85	10.000
alho	orgânico	6.102	1,72	3.548
(<i>Allium sativum</i>)	convencional	6.350	1,20	5.292
batata (<i>Solanum tuberosum</i>)	orgânico	19.451	2,74	7.099
	convencional	25.000	1,98	12.626
batata-baroa (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	orgânico	15.355	4,38	3.506
	convencional	15.000	5,17	2.901
batata-doce (<i>Ipomoeas batata</i>)	orgânico	21.630	6,58	3.287
	convencional	18.000	6,45	2.791
cenoura (<i>Daucus carota</i>)	orgânico	23.535	1,85	12.722
	convencional	28.000	2,32	12.069
couve-flor (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>)	orgânico	13.686	1,19	11.501
	convencional	15.000	1,00	15.000
repolho (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	orgânico	55.320	4,07	13.592
	convencional	47.102	1,62	29.075
taro (<i>Colocasia esculenta</i>)	orgânico	23.805	3,14	7.581
	convencional	20.000	2,63	7.605
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	orgânico	34.545	0,97	35.613
	convencional	55.000	0,83	66.265
média orgânico		22.075	2,78	10.250
média convencional		23.795	1,93	16.362

Tabela 5. Produção total e diária de energia no cultivo orgânico de dez culturas olerícolas (total and daily energy production in organic production system of ten vegetable crops). Domingos Martins, INCAPER, 2006¹.

Culturas (ciclo) ¹	Sistema orgânico	
	Produção total de energia por ha por ciclo (kcal)	Produção de energia por ha por dia (kcal)
abóbora (110 dias)	2.930.333	26.639
alho (145 dias)	8.176.967	56.393
batata (97 dias)	15.269.133	157.414
batata-baroa (324 dias)	19.204.167	59.272
batata-doce (228 dias)	27.145.119	119.057
cenoura (111 dias)	11.767.471	106.013
couve-flor (113 dias)	4.105.775	36.334
repolho (120 dias)	13.829.967	115.250
taro (291 dias)	15.901.851	54.646
tomate (118 dias)	8.636.333	73.189
média (158 dias)	12.696.712	80.421

¹Ciclo médio de cada cultura no sistema orgânico, no período de 1991 a 2000 (Medium cycle of each crop in the organic system, from 1991 to 2000) (SOUZA, 2005).

podem ser consideradas sustentáveis, pois foram similares ou superiores a 58.064 kcal por ha dia⁻¹, exceto a cultura da abóbora, que produziu apenas 26.639 kcal. A cultura mais eficiente foi

a da batata, com produção de 157.414 kcal ha⁻¹ por dia. Os cultivos orgânicos de batata-doce, repolho e cenoura também se destacaram com bom nível de produção de energia por área.

AGRADECIMENTOS

Ao INCAPER e à UFV, instituições promotoras deste trabalho. Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. 2005, 8 de dezembro. *Transportes terrestres, números do setor*. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/destaques/ANTTemNumeros2005>>.
- ALMEIDA AF. *Educação ambiental e qualidade de vida*. 2005. Disponível em: <<http://www.cbssi.com.br/revista01.htm>>. Acesso em 15 de setembro de 2005.
- FERRARO JÚNIOR LA. 1999. *Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade*. São Paulo: USP-ESALQ. 131 p. (Tese mestrado).
- FRANCO G. 1999. *Tabela de composição química dos alimentos*. 9 ed. São Paulo: Editora Atheneu. 307p.
- GÂNDARA FC. 1998. *Produção de biomassa e balanço energético em agroecossistemas de produção de hortaliças, no Distrito Federal*. Brasília: UNB. 70 p. (Tese mestrado).
- GLIESSMAN S. 2000. *Agroecologia – Processos ecológicos em agricultura sustentável*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 653p.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2005, 10 de novembro. *Linhas e Projetos de Pesquisa: Plástico Biodegradável*. Disponível em: <<http://www.ipt.br/atividades/inovacao/exemplos/plastico/definicao>>.
- LI F; GAO C; ZHAO H; LI X. 2002. Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 101-111.
- LIMA JEFW; FERREIRA RSA; CHRISTOFIDIS D. 2005. O uso da irrigação no Brasil. 13 p. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em 16 de novembro de 2005.
- LOCKERETZ W. 1980. Energy inputs for nitrogen, phosphorus, and potash fertilizers. In: PIMENTEL D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Florida: CRC Press, 1980. p. 23-26.
- MACEDÔNIO AC; PICCHIONI SA. 1985. *Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária*. Curitiba: Secretaria da Agricultura, Departamento de Economia Rural. 99p.
- MELLO R. 1989. Um modelo para análise energética de agroecossistemas. *Revista de Administração de Empresas* 29: 45-61.
- MME - Ministério das Minas E Energia. 2005. *Boletim Energético Nacional – BEN*. Brasília. p. 129.
- OZKAN B; KURKLU A; AKCAOZ H. 2004. An input-output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey. *Biomass & Bioenergy* 26: 89-95.

- PIMENTEL D. (Ed.). 1980. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Florida: CRC Press. 475 p.
- PIMENTEL D; BURGESS M. 1980. Energy inputs in corn production. In: PIMENTEL D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Florida: CRC Press, p. 67-84.
- PIMENTEL D; DAZHONG W; GIAMPIETRO M. 1990. Technological changes in energy use in U.S. agricultural production. In: GLIESSMAN SR. (Ed). *Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. New York: Springer-Verlag, p. 305-321. (Ecological Studies, 78).
- SAKURAI K. 2004. HDT 17: Metodo sencillo del analisis de residuos solidos. *Organización Panamericana de la Salud*. Disponível em: <<http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bv-residuos.shtml>>. Acesso em 20 de julho de 2004.
- SANTOS HP; FONTANELI RS; IGNACZAK JC; ZOLDAN SM. 2000. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto. Brasília: *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 743-752.
- SOUZA JL. 2005. *Agricultura Orgânica: tecnologias para a produção de alimentos saudáveis*, 2 v. Vitória: INCAPER. 257p.
- SOUZA, JL. 2006. *Balanço energético em cultivos orgânicos de hortaliças*. Viçosa: UFV. 207p. (Tese doutorado).
- SOUZA JL; RESENDE P. 2006. *Manual de Horticultura Orgânica*, 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil. 560p. il.
- URI ND; ATWOOD JD; SANABRIA J. 1998. The environmental benefits and costs of conservation tillage. *The Science of the Total Environment* 216: 13-32.
-