

DEMANDA ENERGÉTICA DE DIFERENTES MANEJOS DE SOLO NO CULTIVO DE MILHO

ENERGY DEMAND OF DIFFERENT SOIL MANAGMENTS IN CORN CROP

João Paulo Barreto CUNHA¹; Alessandro Torres CAMPOS²;
Felipe Gabriel Lorenzoni MARTINS³; Vanderson Rabelo de PAULA⁴;
Carlos Eduardo Silva VOLPATO²; Flavio Castro da SILVA⁵

1. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil. bcunha_2@hotmail.com; 2. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, Brasil; 3. Mestre em Engenharia Agrícola, UFLA, Lavras, MG, Brasil; 4. Professor, Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Machado, MG, Brasil; 5. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

RESUMO: O balanço energético permite identificar as possíveis entradas e saídas de energia no processo de produção, resultando no saldo energético final do processo produtivo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os fluxos de energia de diferentes sistemas de cultivo para produção de milho na região de Lavras-MG. Foi realizado o estudo da eficiência energética e o balanço energético quantificando-se o coeficiente energético de cada componente envolvido no processo de produção e se determinaram as matrizes de consumo energético nas formas de insumos, mão-de-obra, equipamentos, produção de grãos e restos culturais. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, onde os tratamentos eram constituídos pelos sistemas de manejo de solo. Para os dados das entradas e saídas de energia, balanço energético e a eficiência, os mesmos quando significativos foram submetidos ao teste de comparação de média Scot-Knott a 5 % de probabilidade. Os resultados indicaram que a contribuição do dispêndio energético dos fertilizantes, herbicidas e combustíveis foi determinante para o elevado consumo energético dos sistemas de cultivo estudados, sendo o efeito contrário para as energias referentes às fontes de origem biológica. Para as condições do presente experimento, dentre os sistemas de condução avaliados, do ponto de vista energético os sistemas de plantio direto, cultivo mínimo e convencional apresentaram o mesmo desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: Entradas e saídas. Balanço de energia. Análise energética. Plantio direto.

INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda energética, na agricultura passou-se a utilizar no seu processo de produção, não somente a energia encontrada livremente na natureza (energia solar, ar, água, nutrientes), como também intensamente a energia adicionada pelo homem na forma de fertilizantes, combustíveis, agrotóxicos, etc. (SANTOS; SIMON, 2010).

Segundo Campos et al. (2004) a eficiência dos sistemas de produção agrícola não deve ser medida somente pela produtividade obtida e relação custo/lucro, como também receber uma abordagem energética dos agroecossistemas.

A região Sul de Minas Gerais destaca-se pela produção de diversos produtos agrícolas, sendo que o milho apresenta grande importância, visto que, é utilizado na alimentação animal, na forma de ração ou silagem. Uma das maneiras de aumento da produção desta *commodity* na região é a adoção de híbridos, que segundo Cardoso et al. (2005) vem demonstrando resultados de produtividade melhores em relação às variedades comerciais, em diferentes condições climáticas e de manejo.

A análise energética dos sistemas de produção de grãos ganha em importância, à medida que ainda existam dúvidas sobre a melhor forma de avaliar a sustentabilidade dos sistemas conservacionistas e convencionais, ou seja, este último, em referência à sistemas de manejo do solo com mobilização e revolvimento das camadas superficiais no intuito de reduzir a compactação e incorporar fertilizantes e corretivos. Segundo Houshyar et al. (2012), para alcançar a sustentabilidade na produção de milho, é preciso adequar as políticas energéticas de acordo com a região e o sistema de cultivo, além de reduzir a energia de entrada o tanto quanto possível.

Segundo Alvim (2007) o sistema de plantio direto permite maior produtividade e competitividade em relação aos sistemas convencionais, aqueles que por desenvolver uma agricultura mais sustentável em função da menor mobilização do solo, devido ao revolvimento somente na linha de semeadura, minimizando o risco de erosão e com reduzido consumo de combustível. Em termos econômicos, a vantagem do plantio direto é expressa no menor custo representado pela redução das horas-máquinas

empregadas e, conseqüentemente, no menor gasto com combustíveis e lubrificantes (BRANCALÃO; MORAES, 2008).

Angonese et al. (2006) citam que o balanço de energia nos sistemas agrícolas vem sendo bastante estudado e se baseia no princípio físico de conservação de energia, também conhecido como primeiro princípio da termodinâmica, ou seja, a variação de energia em um processo pode ser explicada pelo balanço de energia, isto é, entradas, saídas e variação da energia interna.

A realização do balanço energético visa principalmente estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência refletida pelo ganho de energia e a energia necessária para produzir ou processar uma unidade de determinado produto (JASPER et al., 2010). Dessa forma, são quantificados todos os insumos utilizados e transformados em unidades de energia, o que permite fornecer parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões, constituindo em um importante instrumento na adoção de técnicas de manejo agropecuários, permitindo economia de energia e conseqüente redução dos custos (CAMPOS et al., 2005).

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o balanço energético e a conversão energética de diferentes sistemas de cultivo na produção de milho na região de Lavras-MG.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Muquém - FAEPE/UFLA, localizada em Lavras-MG, com altitude de 910 m, latitude Sul 21° 14' 42" e longitude Oeste de 45° 00' 00" com precipitação total anual média de 1530 mm, em Latossolo Vermelho Distroférrico. O clima da região é do tipo Cwa, tropical de altitude, com invernos secos e frios, verões chuvosos e quentes, com precipitação média anual de 1.536 mm (INMET, 2011).

Foi utilizado delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas com dimensões de 160 m² (8 m de largura x 20 m de comprimento), onde as mesmas consistiam de quatro tipos de manejo do solo: 1) Sistema de plantio direto (SPD): dessecação + semeadura; 2) Cultivo mínimo: dessecação + escarificador + semeadura; 3) Sistema com manejo integrado de cobertura vegetal: dessecação+manejo da palha com trincha+semeadura; 4) Cultivo convencional: aração + gradagem + semeadura. A utilização da trincha

está relacionada ao aspecto mais conservacionista no sistema de produção além de promover menor compactação do solo na camada superficial, conforme observado por Pais et al. (2010). Os autores encontraram que a compactação do solo promovida pela trincha na profundidade de 0 a 3,0 cm foi menor do que a promovida por outros implementos de manejo do solo e que isso pode ser devido ao fato de a trincha é um implemento que tritura os restos vegetais sem tocar o solo.

A eficiência energética (η) dos sistemas estudados foi obtida por meio da razão entre toda energia convertida e a energia consumida, ou seja, com base em estimativas de entradas ("inputs") e saídas ("outputs") de energia, obtidas durante o acompanhamento de todo o ciclo, ou seja, desde o plantio até a colheita, seguindo-se a Equação 1, relatada por Angonese et al. (2006) e Melo et al. (2007):

$$\eta = \frac{\Sigma E \text{ saída}}{\Sigma E \text{ consumo}} \quad (1)$$

Onde:

- $\Sigma E_{\text{Saída}} = \Sigma (E_{\text{DSaída}} + E_{\text{ISaída}})$;
- $\Sigma E_{\text{Consumida}} = \Sigma (E_{\text{DConsumo}} + E_{\text{IConsumo}})$;
- E_{D} = Estimativa de energia direta;
- E_{I} = Estimativa de energia indireta;
- $E_{\text{Saída}}$ = Estimativa de energia útil que sai no processo de produção (em forma de produto);
- $E_{\text{Consumida}}$ = Estimativa de energia consumida no processo de produção.

Levando-se em consideração o procedimento adotado por Angonese et al. (2006), como energia direta utilizou-se aquela referente a combustíveis, lubrificantes e graxa, mão-de-obra, sementes, fertilizantes e defensivos, enquanto para energia indireta foram considerados os gastos referentes a máquinas e implementos agrícolas.

Dessa maneira, como energia útil foi considerada a produção de grãos de milho, e a produção de restos culturais como colmo, palha, folhas e sabugo. A Figura 1 sumariza os componentes energéticos (entrada e saída) envolvidos nos diferentes sistemas de produção de milho estudados.

De acordo com metodologia descrita por Assenheimer et al. (2009), o balanço energético foi obtido mediante a transformação em unidades calóricas dos componentes de entrada envolvidos no sistema de produção de milho, seguindo-se os coeficientes energéticos estabelecidos por diversos autores, conforme estão apresentados na Tabela 1.

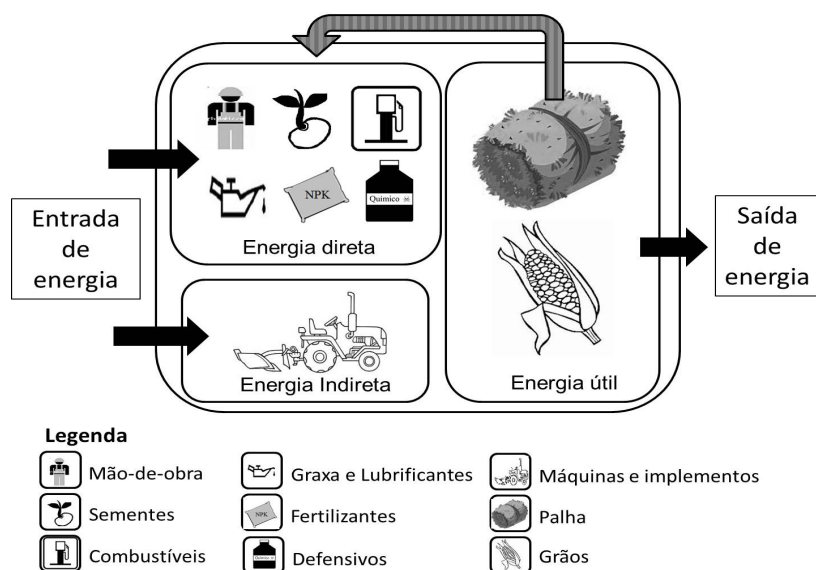


Figura 1. Fluxos de energia no sistema de produção de milho para os diferentes sistemas estudados.

Tabela 1. Componentes das entradas energéticas referentes ao sistema de produção de milho e seus respectivos coeficientes energéticos.

Componentes de entrada	Coeficiente energético	Unidade	Fonte
Mão-de-obra *	2,96	MJ homem h ⁻¹	Campos et al. (2009)
Sementes de milho	33,22	MJ kg ⁻¹	Riquetti et al. (2012)
Adubação de base (N)	74,00	MJ kg ⁻¹	Romanelli e Milan (2005)
Adubação de base (P ₂ O ₅)	12,56	MJ kg ⁻¹	Romanelli e Milan (2005)
Adubação de base (K ₂ O)	6,70	MJ kg ⁻¹	Romanelli e Milan (2005)
Adubo de cobertura (Ureia)	78,04	MJ kg ⁻¹	Romanelli e Milan (2005)
Herbicida (Glifosato)	631,8	MJ kg ⁻¹	Pimentel (1980)
Atrazina	188,4	MJ kg ⁻¹	Fluck e Baird (1982)
Trator	69,83	MJ kg ⁻¹	Zanini et al. (2003)
Implementos	57,20	MJ kg ⁻¹	Assenheimer et al. (2009)
Óleo Diesel	43,71	MJ L ⁻¹	Bueno (2002)
Óleo Lubrificante	39,43	MJ L ⁻¹	Campos et al. (2004)
Graxa	43,38	MJ kg ⁻¹	Campos et al. (2004)

*Foi adotada como jornada de trabalho nas operações tempo de no máximo 8 horas dia⁻¹.

Dessa forma, foram consideradas como saídas energéticas (“outputs”) a produção física obtida de grãos multiplicada pelo seu valor energético 16,614 MJ kg⁻¹. No caso dos restos culturais (palha, colmo, sabugo, folhas) a produção física foi multiplicada pelo somatório dos valores energéticos de cada componente, conforme descrito por Marchioro (1985) e Kumar et al. (2002), totalizando 42,44 MJ kg⁻¹.

No que se refere ao cálculo da energia consumida por máquinas e equipamentos, utilizou-se metodologia empregada por Angonese et al. (2006) e Riquetti et al. (2012), a qual consiste na aplicação de um método baseado na depreciação energética, à semelhança da depreciação econômica, que com base na massa das máquinas e equipamentos, consiste em depreciá-los durante sua vida útil. Dessa forma, para execução dos cálculos empregou-se a Equação 2:

$$DEE = \frac{(M.CE).TU}{VU} \quad (2)$$

Onde:

- DEE= Demanda específica de energia;
- M = massa de máquinas ou equipamentos, em kg;
- CE = coeficiente energético de máquinas ou equipamentos, em kg;
- VU = vida útil, em horas;
- TU = tempo de uso, em horas.

Dessa maneira computou-se o número de vezes da execução de cada tarefa, tempo gasto em cada operação (hora máquina), enquanto a massa das máquinas e implementos foi obtida junto aos catálogos de fabricantes. Para a obtenção do consumo de combustível, foi utilizado um medidor de fluxo da marca OVAL modelo M-III que permitiu a aquisição e quantificação de todo volume gasto em cada operação, onde em seguida foi multiplicado pelo seu respectivo coeficiente energético, onde juntamente com os gastos com graxa e lubrificantes, permitiu a obtenção de toda energia fóssil consumida.

Como fonte de tração utilizou-se um trator Valtra A850, motor de ciclo diesel, potência nominal segundo ISO 1585 de 58,8 kW (80 cv), tração dianteira auxiliar, rodados equipados com pneus radiais traseiros (R1 18.4 - 30) e dianteiros (7.50 -18). Nas unidades experimentais em que foi implantado o sistema de cultivo mínimo utilizou-se escarificador BALDAN, modelo CEH, com nove hastes e largura útil de trabalho de 2390 mm. Para a

implantação do sistema de cultivo convencional foi utilizado arado de discos reversíveis SANTA HELENA, modelo R-326 e grade destorroadora-niveladora BALDAN, modelo NVCR dotada de 42 discos e largura de trabalho de 3600 mm. Para a realização do manejo integrado de cobertura vegetal utilizou-se trincha da marca DRIA modelo Driaton 1600 LBDM com largura de trabalho útil de 1570 mm.

Na realização dos tratamentos fitossanitários foi utilizado um pulverizador de barras marca JACTO, modelo PJ401 com agitação hidráulica, largura da barra de 9,5m, capacidade de 400 litros e 195 kg de massa. Para a realização da semeadura da cultura do milho utilizou-se uma semeadora-adubadora da marca JUMIL, modelo JM2860 com seis módulos de semeadura espaçados em 550 mm, onde a mesma foi previamente regulada para a aplicação de 400 kg de adubo e 65.000 plantas por hectare.

Como a colheita do experimento foi realizada manualmente, não foram computados os dispêndios energéticos com essa operação. Também não foram computados os gastos com relação ao transporte dos grãos do campo para o armazém e tampouco os gastos para secagem e beneficiamento dos mesmos. Para a determinação da produtividade foi empregado um gabarito com área de 3,0 m² onde todo material foi colhido manualmente e posteriormente ensacado e pesado permitindo assim estimar o valor real dos resultados de produtividade para cada sistema de cultivo. Dessa forma, os dados obtidos para as entradas e saídas energéticas, energia líquida e eficiência energética de cada sistema de cultivo avaliados foram submetidos à análise de variância onde, quando significativos, foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As energias de entrada (“input”) e de saída (“output”) para cada sistema de manejo estão apresentadas na Tabela 2. De acordo com os resultados apresentados é possível verificar que em todos os sistemas avaliados, o uso de energia relativo a herbicidas e nutrientes, utilizados no momento da semeadura e na adubação cobertura, e sementes de milho híbrido são sempre os mesmos. Nota-se que, exceto para a energia referente às sementes, as mesmas apresentam-se maiores que a energia relativa ao consumo de combustível.

Tabela 2. Entradas e saídas energéticas (MJ) em cada sistema de manejo de solo.

Descrição energia (MJ ha ⁻¹)	Sistemas de manejo do solo			
	Plantio direto	Cultivo mínimo	Manejo da palha	Convencional
<i>Energia Direta</i>				
Mão-de-obra	19,50	28,11	29,01	36,67
Sementes	630,93	630,93	630,93	630,93
Óleo Diesel	2324,78	3874,63	4036,73	5416,57
Lubrificantes	29,40	49,00	51,05	68,50
Graxa	5,79	9,65	10,05	13,49
Fertilizantes	8260,80	8260,80	8260,80	8260,80
Defensivos	3929,90	3929,90	3929,90	706,80
<i>Energia Indireta</i>				
Trator	1058,09	1763,48	1837,25	2465,27
Implementos	192,68	214,05	245,79	341,77
<i>Saídas de energia</i>				
Palha	245975,87	206421,20	145399,89	263774,06
Grãos	157437,20	165031,80	104075,30	166304,50

Analisando a utilização da energia proveniente da mão-de-obra, embora tenha contribuído com uma pequena parcela na energia consumida, é possível verificar que o sistema convencional apresentou os maiores valores em comparação aos outros sistemas. De acordo com Campos et al. (2009) o baixo dispêndio energético da mão-de-obra, comparado ao consumo de combustíveis, evidencia o grau de intensidade da mecanização na cultura, ou seja, a quantidade de energia desse fator está diretamente relacionada com o número de operações realizadas para cada sistema.

Com relação às entradas de energia dos diferentes sistemas (Tabela 3), o sistema de plantio direto (SPD) utilizou a menor quantidade de energia (16451,86 MJ ha⁻¹), mesmo não diferindo estatisticamente dos demais. Nota-se com a Tabela 3 que o sistema que apresentou uma maior entrada de energia foi o sistema de manejo da palha, fato explicado por possuir características semelhantes ao sistema de plantio direto no que tange à utilização de herbicidas, em contrapartida com uma maior utilização de máquinas e implementos.

Tabela 3. Balanço energético e eficiência energética dos diferentes sistemas de manejo.

Sistema de manejo	Entrada (MJ ha ⁻¹)	Saída (MJ ha ⁻¹)	Energia Líquida (MJ ha ⁻¹)	Eficiência Energética (%)
Plantio direto	16451,86 a	403413,07 a	386961,20 b	24,52 a
Cultivo mínimo	18760,54 a	371453,01 b	352692,46 c	19,80 b
S. Manejo da palha	19031,52 a	249475,18 c	230443,66 d	13,11 c
Convencional	17940,80 a	430078,56 a	412137,76 a	23,97 a
F _c	4,486	248,1	188,7	367,8
C.V	5,20	2,50	2,86	2,26

Médias com letras distintas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Scott-knott à 5% de probabilidade.

Diversos autores têm verificado os gastos energéticos para diferentes culturas e em diferentes regiões. Quando comparada a energia de entrada dos sistemas de cultivo estudados com resultados obtidos em outros países, é possível observar uma quantidade menor do que a utilizada no Iran (42.953,27 MJ ha⁻¹), Itália (29.700,00 MJ ha⁻¹) e Estados Unidos (31.275,4 MJ ha⁻¹), sendo maior que na Índia (7.449,56 MJ ha⁻¹) e Tailândia (12.638,90 MJ ha⁻¹) (HOUSHYAR et al., 2012). Evidencia-se,

dessa maneira fica claro que as entradas energéticas dependem diretamente de uma maior ou menor adoção de insumos e de tecnologia por parte dos produtores.

Quando comparados os sistemas, verifica-se que o de manejo da palha apresentou menores saídas energéticas, diferindo estatisticamente dos outros sistemas estudados. Em média, para as saídas de energia dos sistemas avaliados, o componente energético representado pela produção de grãos

correspondeu um valor de 148212,2 MJ, correspondendo a 28,9%, enquanto a produção de restos culturais correspondeu a 71,1%.

Os valores de eficiência energética apresentados pelos sistemas estudados mostram que o sistema de plantio direto, mesmo não diferindo estatisticamente, apresentou maior eficiência (24,52%), em relação ao sistema convencional (23,97%). Com relação ao sistema de cultivo mínimo o mesmo apresentou-se diferente estatisticamente de todos os outros sistemas apresentando eficiência de 19,80%. Outros autores, como Santos et al. (2007) e Riquetti et al. (2012), realizando o balanço energético de diferentes sistemas de manejo do solo também observaram maior eficiência energética no sistema de plantio direto em relação aos demais.

Pracucho et al. (2007), avaliando o balanço energético da cultura do milho em duas propriedades obtiveram eficiência energética de 18,20 e 21,33, ressaltando que na propriedade onde a eficiência foi menor, o produtor utilizava maior quantidade de insumos, particularmente fertilizantes minerais, para aproveitar o efeito residual para o próximo plantio, pela expectativa de maior produtividade.

Com relação ao sistema de manejo da palha, é possível observar a menor eficiência desse sistema (13,11%). Tal fato é explicado devido ao uso da trincha como implemento para a realização da operação. Por possuir pequena largura de trabalho e operar em baixas velocidades, onde o uso deste implemento agrícola ocasiona uma menor capacidade operacional, aumentando significativamente o número de manobras do trator na área, e consequente aumento do consumo de combustível.

Outro fator relacionado com a menor eficiência do sistema manejo da palha é a menor quantidade de energia como saída útil. Tal fato pode ser explicado pela compactação do solo, resultado do tráfego intenso de máquinas, superior ao do sistema de plantio direto (SPD) devido à utilização da trincha. Nesse tipo de manejo, por não promover revolvimento do solo e a presença de grande quantidade de restos vegetais, os efeitos de uma possível compactação são refletidos na produtividade.

A semelhança entre as eficiências obtidas entre os sistemas conservacionistas (plantio direto e mínimo) e o convencional basicamente se dá pela natureza da energia consumida. Sistemas conservacionistas utilizam menores quantidades de

energia dos combustíveis e maiores quantidades de defensivos. Em contrapartida o sistema convencional utiliza maiores quantidades de combustíveis uma vez que o uso de máquinas é mais intenso, porém utiliza menor quantidade de defensivos já que o controle de plantas daninhas é feito mecanicamente por meio de aração e gradagem.

Esse resultado pode levar a uma falsa impressão de que esses dois sistemas são igualmente sustentáveis, o que não é verdade. Diversos autores provaram a sustentabilidade superior do SPD e seus benefícios para o solo em relação ao cultivo convencional, como por exemplo, Pereira et al. (2011) que apontam os sistemas conservacionistas de manejo como aqueles que melhoram as características químicas, físicas e biológicas do solo, com reflexos no crescimento e interferindo diretamente na produtividade.

Em se tratando de uma área utilizada durante vários anos sem haver o revolvimento das camadas compactadas, os resultados mostram uma maior saída de energia para o sistema convencional. Segundo Tormena et al. (2002), os sistemas de cultivo mínimo e plantio convencional proporcionam condições físicas menos restritivas ao crescimento das plantas, quando comparados com o plantio direto, o que pode refletir na produção. Tal fato está relacionado a mobilização do solo resultar em um fraturamento dos agregados e o desenvolvimento de poros, facilitando assim ao desenvolvimento do sistema radicular e absorção de nutrientes.

A forma e a quantidade de energia empregada em cada sistema de manejo estão apresentadas na Figura 2. Verifica-se que o sistema de plantio direto utiliza menos energia dos combustíveis, 14% contra 30% do cultivo convencional, porém, utilizam maiores quantidades de defensivos, 23% contra 4% do cultivo convencional. Essa diferença se deve ao uso intenso de máquinas e ao controle mecânico de plantas daninhas no cultivo convencional. Khaledian et al. (2010) observaram a mesma tendência de gasto energético para esses dois parâmetros quando compararam os dois sistemas de cultivo. Lozardeh et al. (2011) avaliando as entradas e saídas energéticas na produção de milho verificaram que os gastos energéticos referentes ao uso de fertilizantes e combustíveis chegam até 76% de todo dispêndio energético, enquanto os gastos referentes a energia de origem biológica (sementes e mão-de-obra) contribuem de maneira pouco representativa.

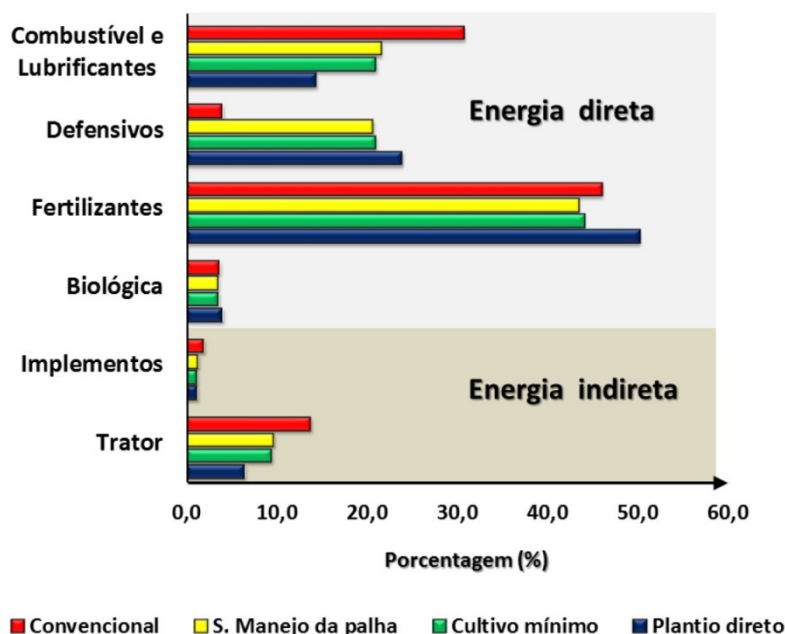


Figura 2. Participação dos diversos fatores na composição energética em função dos sistemas de manejo.

É possível observar a grande dependência de energia direta, principalmente as referentes ao uso de fertilizantes (média de 46%), seguido da energia representada pelos combustíveis, lubrificantes e graxas (média de 22%) e dos defensivos (média de 17%), nos sistemas estudados. Os resultados obtidos são semelhantes aos obtidos por diversos autores, como Santos e Simon (2010), que observaram um gasto energético de 40% com fertilizantes, 5,28% com combustíveis, lubrificantes e graxas e 28% com defensivos, na produção de milho em SPD em um assentamento rural.

Tais resultados corroboraram Woods et al. (2010), onde para os autores a agricultura moderna é fortemente dependente dos recursos fertilizantes, pesticidas e maquinário. No entanto a relação entre entradas de energia e rendimento não apresenta comportamento linear, ou seja, baixas entradas energéticas podem levar a rendimentos mais baixos e perversamente para maiores demandas de energia por tonelada de produto colhido.

CONCLUSÕES

O sistema de cultivo que apresentou a pior eficiência energética foi o sistema de manejo da

palha (13,11), enquanto o sistema de plantio direto apresentou o menor dispêndio de energia, correspondendo a 16451,86 MJ ha⁻¹.

A contribuição do dispêndio energético dos fertilizantes, herbicidas e combustíveis foi determinante para o elevado consumo energético dos sistemas de cultivo estudados. Em contrapartida há pouca contribuição da energia de fontes biológicas, com pouca representatividade energética da mão-de-obra e sementes, confirmando a tendência observada em outros trabalhos já realizados.

Com relação ao balanço energético e a eficiência cultural, exceto para o sistema com manejo da palha, não houve diferenças significativas entre os sistemas estudados para tais variáveis, sendo possível afirmar que para as condições do experimento e para os sistemas de condução avaliados, do ponto de vista energético, os sistemas apresentaram o mesmo desempenho.

ABSTRACT: The energetic balance permits to identify all the possible energy inputs and outputs in the production system, resulting in the final energetic balance of the productive process. The aim of this study was to evaluate the energy flows of different crop systems for maize production in Lavras-MG. A study of energy efficiency and energy balance was conducted, quantifying the energy ratio of each component involved in the production process and determined

the matrices in the forms of energy inputs, labor, equipment, grain and debris cultural. A randomized block design was used with four replications, where treatments were made by the studied treatments. For data inputs and outputs of energy, energy balance and efficiency, they were significant when tested for comparison of average Scot-Knott at 5% probability. The results indicated the contribution of energy expenditure of fertilizers, herbicides and fuel was crucial to the energy intensive farming systems studied, the opposite effect to the energies related to sources of biological origin. For the conditions of this experiment, among the conducted systems evaluated from the point of view of energy systems of tillage, minimum tillage and conventional showed the same performance.

KEYWORDS: Inputs and outputs. Energetic balance. Energetic analysis. No tillage.

REFERÊNCIAS

- 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**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300030>
- ALVIM, I. S. A. Análise da competitividade da produção de soja no sistema de plantio direto no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de História Econômica & Economia Regional Aplicada**, Juiz de Fora, v. 2, n. 2, p. 109-131, 2007.
- ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. F. C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista Ambientia**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-455, 2009.
- BRANCALIAO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 393-404, 2008.
- CAMPOS, A. T.; FERREIRA, W. A.; YAMAGUCHI, L. C. T. Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, n. 1, p. 10-20, 1998.
- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600050>
- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Revista Ciência Rura**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 245-251, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000100038>
- CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A.T.; BUENO, O. C. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) PERS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, 2005.
- CAMPOS, A. T.; KLOSOWSK, E. S.; SOUZA, C. V.; ZANINI, A.; PRESTES, T. M. V. Análise energética da produção de soja em sistema de plantio direto. **Global Science Technology**, Rio Verde, v. 2, n. 2, p. 38 – 44, 2009.
- CARDOSO, M. J.; LEMOS DE CARVALHO, H. W.; SANTOS, M. X. dos; MENEZES DE SOUZA, E. Comportamento fenotípico de cultivares de milho na Região Meio-Norte Brasileira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 181-188, 2005.
- FLUCK, R. C.; BAIRD, C. D. **Agricultural energetics**. University of Florida, Agricultural Engineering Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, Gainesville, 1982. 197 p.

HOUSHYAR, E., AZADI, H., ALMASSI, M.; DAVOODI, M. J. S.; WITLOX, F. Sustainable and efficient energy consumption of corn production in Southwest Iran: Combination of multi-fuzzy and DEA modeling. **Energy**, Amsterdam, v. 44, s.n, p. 672-681, 2012.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2011. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 19 de Mar. 2013.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*crambe abyssinica* hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

KHALEDIAN, M. R.; MAILHOL, J. C.; RUELLE, P.; MUBARAK, I.; PERRETE, S. The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the SE of France. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v. 106, s.n, p. 218-226, 2010.

KUMAR, A.; PUROHIT P.; RANA S., KANDPAL T. C. An approach to the estimation of the value of agricultural residues used as biofuels. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, n. 3, p. 195-203, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00070-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00070-8)

LORZADEH, S. H.; MAHDAVIDAMGHANI, A.; ENAYATGHOLIZADEH, M. R.; YOUSEFI, A. Energy Input-Output Analysis for Maize Production Systems in Shooshtar, Iran. **Advances in Environmental Biology**, v. 11, n. 5, p. 3641-3644, 2011.

MARCHIORO, N. P. X. **Balanco ecoenergético: uma metodologia de análise de sistemas agrícolas**. In: TREINAMENTO EM ANÁLISE ECOENERGÉTICA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS, Curitiba, PR. Curitiba : IAPAR, 1985. p. 24-40.

MELO, D.; PEREIRA, J. O.; SOUZA, E. G.; FILHO, A. G.; NÓBREGA, L. H. P.; NETO, R. P. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.

PAIS, P. S. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, G. A.; DIAS, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; Alcântara, E. N. Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiros. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1949-1957, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600011>

PEREIRA, R. G.; ALBUQUERQUE, A. W. D.; SOUZA, R. D. O.; SILVA, A. D. D.; SANTOS, J. P. A. D.; BARROS, E. D. S.; MEDEIROS, P. V. Q. D. Sistemas de manejo do solo: soja [*glycine max* (L.)] consorciada com *Brachiaria Decumbens* (STAPF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 44-51, 2011. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.6981>

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Energy inputs in corn production. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 67-84.

PRACUCHO, T. T. G. M.; ESPERANCINE, M. S. T.; BUENO, O. C. Análise energética e econômica da produção de milho (*Zea mays*) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no município de Pratânia - SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 94-109, 2007.

RIQUETTI, N. B.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Demanda energética em diferentes manejos de solo e híbridos de milho. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 76-85, 2012.

ROMANELLI, T. L.; MILAN, M. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 1-7, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162005000100001>

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais na conversão e no balanço energéticos. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 299-306, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200014>

SANTOS, R. R.; SIMON, E. J. Análise energética do milho em sistema de plantio direto, no assentamento rural da fazenda Pirituba, Itaberá/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 121-137, 2010.

TORMENA, C. A; BARBOSA, M. C; COSTA; A. C. S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>

WOODS, J.; WILLIAMS, A.; JOHN K. HUGHES, J. K.; BLACK, M.; MURPHY, R. Energy and the food system. **Philosophical Transactions of Royal Society**, n. 365, p. 2991–3006, 2010.

ZANINI, A.; CAMPOS, A. T.; PRESTES, T. V. M.; DALMOLIN, M. F.; CAMPOS, A. T. de; KLOSOWSKI, E. S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. **Revista Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.