

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.4, p.634-641, out.-dez., 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v6i4a1366

Protocolo 1366 - 21/02/2011 *Aprovado em 08/06/2011

Henrique P. Santos^{1,3}

Silvio T. Spera¹

Renato S. Fontaneli²

Geizon Dreon^{1,4}

Avaliação de práticas culturais na conversão e no balanço energético

RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito das práticas culturais manejo do solo e rotação de culturas na conversão energética e no balanço energético, foi conduzido, de 2004 a 2009, em Passo Fundo, RS, um experimento constituído de quatro tipos de manejo de solo: 1) plantio direto, 2) cultivo mínimo, 3) preparo convencional de solo com arado de disco 4) preparo convencional de solo com arado de aiveca, e três sistemas de rotação de culturas: sistema I - trigo/soja; sistema II - trigo/soja e ervilhaca/sorgo; e sistema III - trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelos tipos de manejo de solo, e as subparcelas, pelos sistemas de rotação de culturas. Neste trabalho, discutiu-se a conversão energética (energia disponível / energia consumida) e o balanço energético (energia disponível - energia consumida) no período de 6 anos. O sorgo foi a cultura que mostrou o maior retorno energético, em relação às demais culturas. O sistema plantio direto mostrou maior conversão energética e balanço energético (15,27 e 42.391 Mcal ha⁻¹) do que o cultivo mínimo (12,82 e 35.217 Mcal ha⁻¹) e os preparos convencionais de solo com arado de discos (10,64 e 28.988 Mcal ha⁻¹) e com arado de aivecas (10,55 e 28.698 Mcal ha⁻¹). O trigo em rotação de cultura tendeu a ser mais eficiente energeticamente do que a monocultura desse cereal.

Palavras-chave: Energia, plantio direto, rotação cultura.

Evaluation of the cultural practices on energy conversion and balance

ABSTRACT

Aiming at evaluating the effect of the cultural practices soil management and crop rotation on energy conversion and balance, an experiment was conducted in Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil, from 2004 to 2009. Four types of soil management were used: 1) no-tillage, 2) minimum tillage, 3) conventional tillage using disk plow, and 4) conventional tillage using moldboard plow and three crop rotation systems: system I - wheat/soybean; system II - wheat/soybean and common vetch/sorghum; and system III - wheat/soybean, common vetch/sorghum, and white oats/soybean. The experimental design was made with randomized blocks, with split-plots and three replications. The main plot consisted of the soil management systems, while the split-plots consisted of the crop rotation systems. Energy conversion (available energy/consumed energy) and balance (available energy - consumed energy) in a six-year period were discussed in this paper. The sorghum was the crop that showed the highest energy return in comparison to the other crops. The no-tillage system showed higher energy conversion and balance (15.27 and 42,391 Mcal ha⁻¹) than the minimum tillage (12.82 and 35,217 Mcal ha⁻¹) and the conventional tillage systems using disk plow (10.64 and 28.988 Mcal ha⁻¹) and moldboard (10.55 and 28,698 Mcal ha⁻¹). The wheat under crop rotation tended to be more energetically efficient than the monoculture of this cereal.

Key words: Energy, no-tillage, crop rotation.

¹ Embrapa Trigo, Rod. BR 285, KM 294, CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil Caixa Postal: 451, Fone: (54) 3316-5800. Fax: (54) 3316-5801. E-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br; spera@cnpt.embrapa.br;

² Universidade de Passo Fundo (UPF), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV), Rod. BR 285, KM S/N. CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil. Caixa Postal : 566. Fone: (54) 3316-8167. Fax: (54) 3316-8152. E-mail: renatof@cnpt.embrapa.br

³ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

⁴ Bolsista de Iniciação Científica do CNPq

INTRODUÇÃO

O balanço energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada (energia disponível/energia consumida) e a energia necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto (Pinto, 2002; Campos et al., 2003; Cauwermberg et al., 2007; Soares et al., 2007; Teixeira et al., 2008). Nesse processo identificam-se e quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos que são transformados em unidades de energia. Assim, a análise de fluxo energético requer a unificação do produto de diferentes fontes e conversores de energia, como máquinas, trabalho humano e combustível, em uma mesma unidade calórica (Santos et al., 2007b).

O rendimento energético é dependente do nível tecnológico empregado. Carmo et al. (1988) encontraram balanços muito diferentes entre as propriedades, sendo os grãos o produto de maior retorno por unidade calórica investida, e as hortaliças e produtos animais, exceto o mel, os menores. Para Campos & Campos (2004) e Santos et al. (2010), se por um lado, a disponibilidade de melhores máquinas e equipamentos, fertilizantes e defensivos, bem como o aumento de trabalho, resultam no incremento do dispêndio de energia, por outro, desencadeia culturas mais eficientes no consumo e na conversão de energia, sem a degradação do meio ambiente. No trabalho de Santos et al. (2006) com sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, os maiores índices de balanço energético nos sistemas trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho e, trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/milho, em relação aos sistemas trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja e, trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja, foram resultantes da cultura de milho, que aproveitou melhor a energia disponível, proporcionando aos sistemas maior rendimento de grãos.

A utilização de plantas de cobertura, semeadas principalmente no outono/inverno, em grande parte das áreas ocupadas por culturas de primavera/verão, que permanecem descobertas ou em pousio, é uma das formas de manejo que visam a proteção do solo (Balbinot Jr. et al., 2009). A eficiência energética das plantas de cobertura pode, segundo Santos et al (2010), contribuir para a compreensão do desempenho das espécies em diferentes sistemas de rotação de culturas ou produção de grãos. Todavia, nem toda a tecnologia usada em propriedades mostra eficiência energética. Em estudos realizados por Santos et al. (2007a), os autores identificaram espécies que tiveram balanço energético negativo.

Poucos são os trabalhos sobre conversão e balanço energético que comparam espécies e cultivos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. De acordo com Hetz & Barrios (1997), os custos energéticos dos sistemas com cultivo mínimo e plantio direto foram menores do que os com preparo convencional com discos. Santos et al. (2007a), estudando tipos de manejo de solo e rotação de culturas, envolvendo culturas de inverno e de verão, observaram maior eficiência no consumo de energia também

no plantio direto. Dentre os estudos com sistemas de rotação de culturas, envolvendo a cultura de trigo sob plantio direto, destacam-se os de Santos et al. (2010), cujos resultados foram superiores para a rotação de culturas, em comparação com a monocultura dessa gramínea.

Existem alguns relatos, no Brasil, sobre sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas que precisam ser melhor avaliados. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito das práticas culturais manejo do solo e rotação de culturas na conversão energética e no balanço energético.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho distrófico húmico (Streck et al., 2008), em área pertencente à Embrapa Trigo (28° 15' S, 52° 24' W e 684 m de elevação), Passo Fundo, durante os anos de 2004 até 2009. Foram coletados dados de rendimento de grãos, rendimento de matéria seca, da quantidade de N na matéria seca e da quantidade de palha remanescente das espécies das parcelas no experimento de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas envolvendo a cultura de trigo. Os tratamentos consistiram em quatro tipos de manejo de solo: 1) plantio direto; 2) cultivo mínimo (equipamento com cinco hastes rígidas, de 0,30 a 0,70 m de profundidade); 3) preparo convencional de solo com arado (equipamento com 4 discos, de 18 a 20 cm de profundidade) e grade de discos (equipamento com 20 discos, de 18 a 20 cm de profundidade); e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas (equipamento com 1 aiveca, de 20 a 25 cm de profundidade) e grade de disco, no inverno, e três sistemas de rotação de culturas: sistema I - trigo/soja em monocultura; sistema II - trigo/soja e ervilhaca/sorgo; e sistema III - trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal (360 m²) foi constituída pelos sistemas de manejo de solo, e as subparcelas (40 m²), pelas culturas componentes das rotações de culturas.

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004) e baseada nos resultados de análise de solo. As amostras de solo foram coletadas anualmente, após a colheita das culturas de verão.

A época de semeadura, o controle de plantas daninhas e os tratamentos fitossanitários foram feitos seguindo as indicações de cada cultura. A colheita foi realizada com colhedora especial para parcelas experimentais, exceto na cultura de sorgo, em que foi realizada manualmente. O rendimento de grãos de aveia branca, de soja, de sorgo e de trigo foi corrigido para a umidade de 13%.

Na quantificação dos dados das culturas, utilizaram-se as matrizes de produção, a partir das quais se procederam as transformações para contabilizar a energia disponível e a consumida nesses processos (Santos et al., 2006). Para os cálculos dos diversos índices envolvendo sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, rendimento de grãos,

rendimento de matéria seca, quantidade de palha remanescente, quantidade de N na matéria seca e operações de campo, foram empregados dados e orientações gerados por Pimentel (1980, por Marchioro (1985), Santos et al. (2007a) e Soares et al. (2007). No caso da ervilhaca, considerou-se como rendimento a contribuição auferida como base no percentual

de nitrogênio e palha da matéria seca (Tabela 1). Os dados foram transformados em Mcal (kcal x 1000).

Como energia disponível ou receita energética (Mcal ha⁻¹), considerou-se a transformação em energia do rendimento de grãos, da quantidade de N na matéria seca e da quantidade de palha remanescente das espécies. Como energia consumida

Tabela 1. Coeficientes energéticos selecionados da energia consumida e disponível dos tipos de manejo de solo e de rotação de culturas, em 2010. Passo Fundo, RS

Table 1. Energy coefficients selected from the consumed and available energy of the soil management and crop rotation types, in 2010. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

Especificação	Unidade	Mcal ha ⁻¹	Referência unidade
Energia consumida:			
Semente - aveia branca	kg	4.108	Pimentel (1980)
- ervilhaca	kg	7.584	Pimentel (1980)
- soja	kg	7.584	Pimentel (1980)
- sorgo	kg	14.220	Pimentel (1980)
- trigo	kg	3.002	Pimentel (1980)
Fertilizante - N	kg	18.519	Marchioro (1985)
- P	kg	3.350	Marchioro (1985)
- K	kg	2.315	Marchioro (1985)
Fungicida - azoxistrobina + ciproconazol	L	64.910	Santos et al. (2007b)
- carbendazin + thiran	kg	51.600	Pimentel (1980)
- pirasclostrobin + epoxiconazol	L	64.910	Pimentel (1980)
- tebuconazol	L	64.910	Pimentel (1980)
- triadimenol	L	64.910	Pimentel (1980)
- trifloxistrobina + tebuconazol	L	64.910	Pimentel (1980)
Herbicida - atrazina	L	99.910	Pimentel (1980)
- bentazon	L	99.910	Pimentel (1980)
- clethodin	kg	62.770	Pimentel (1980)
- glifosato	L	99.910	Pimentel (1980)
- iodosulfuron - metil	kg	62.770	Pimentel (1980)
- imazaquin	L	99.910	Santos et al. (2007b)
- metdulfuron - metil	kg	62.770	Santos et al. (2007b)
- sethoxydim	L	99.910	Santos et al. (2007b)
- trifluralin	L	99.910	Santos et al. (2007b)
Inseticida - clorpirifós	kg	74.300	Pimentel (1980)
- deltametrina	L	86.910	Pimentel (1980)
- formicida	kg	74.300	Pimentel (1980)
- imidaclopride	kg	74.300	Pimentel (1980)
- lambdacirotina	L	86.910	Pimentel (1980)
- metamidofós	L	86.910	Pimentel (1980)
- monocrotofós	L	86.910	Pimentel (1980)
- triflumumom	kg	74.300	Pimentel (1980)
Semeadura e adubação	h/e.t.	9.994	Pimentel (1980)
Aplicação de cobertura ou produto	h/e.t.	2.356	Pimentel (1980)
Colheita mecânica	h/cal.	187.131	Pimentel (1980)
Energia disponível:			
- aveia branca	kg	3.734	Santos et al. (2007b)
- ervilhaca	kg	2.319	Santos et al. (2007b)
- soja	kg	4.000	Marchioro (1985)
- sorgo	kg	3.945	Marchioro (1985)
- trigo	kg	3.691	Marchioro (1985)

h/e.t.: hora de trabalho com equipamento e trator; h/cal.: hora de trabalho com colhedora

ou energia cultural (Mcal ha^{-1}), estimou-se a soma dos coeficientes energéticos correspondentes aos corretivos, fertilizantes,

sementes, fungicidas, herbicidas e inseticidas usados em todos os tipos de manejo de solo ou de rotação de cultura, bem como a energia consumida em operações (semeadura, adubação, aplicação de pesticidas e colheita). A conversão energética resulta da divisão da energia disponível (Mcal ha^{-1}) pela consumida (Mcal ha^{-1}), em cada tipo de manejo de solo ou de rotação de culturas. O balanço energético resulta da diferença entre a energia disponível e a consumida, em cada tipo de manejo de solo ou de rotação de culturas.

A análise estatística consistiu da análise de variância da conversão energética e do balanço energético, dentro de cada ano (inverno + verão) e da média conjunta dos anos, no período de 2004 a 2009. Na análise da variância, considerou-se a energia disponível e consumida pelas culturas que compõem os tipos de manejo de solo e de rotação de culturas. Nas análises conjuntas, consideraram-se os tratamentos como

efeito fixo, e o efeito do ano, como aleatório. Os parâmetros em estudo foram submetidos à análise de variância, utilizando o programa estatístico SAS versão 8.2 (SAS, 2004). As médias dos tipos de manejo de solo ou de rotação de culturas foram avaliadas, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias da conversão e do balanço energético anual e no conjunto de 2004 a 2009, e as comparações estatísticas do rendimento de matéria seca, das culturas de inverno e de verão, dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, encontram-se nas Tabelas de 2 a 7.

A análise de variância da conversão e do balanço energético do conjunto dos anos resultou em efeito significativo dos anos, dos tipos de manejo de solo e das rotações de culturas (Tabelas 2 a 7). Santos et al. (2005; 2007a), estudando sistemas de rotação de culturas, obtiveram

Tabela 2. Conversão energética (Mcal ha^{-1}) do rendimento de matéria seca e das culturas de inverno e de verão, na média dos anos, de sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas, de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Table 2. Energy conversion (Mcal ha^{-1}) of dry matter yield and winter and summer crops, in the years mean, of soil management and crop rotation systems, from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

Safrá	Culturas					Média	C.V.
	Aveia branca	Ervilhaca	Soja	Sorgo	Trigo		
2004/05	9,17 AB	10,70 AB	2,00 B	16,11 A	10,21 AB	9,64	21
2005/06	12,74 B	8,23 B	9,16 B	32,30 A	9,14 B	14,31	30
2006/07	10,46 B	7,55 B	12,06 B	31,75 A	10,41 B	14,45	44
2007/08	9,61 B	3,28 B	11,53 B	41,88 A	4,85 B	14,23	40
2008/09	16,39 B	4,45 B	13,20 B	29,17 A	12,22 B	15,09	28
2009/10	11,30 A	3,65 A	10,83 A	12,95 A	7,22 A	9,19	32
Média	11,61 B	6,31 B	9,80 B	27,36 A	9,01 B	12,82	-

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não mostram diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro

Tabela 3. Efeito de tipos de manejo de solo na conversão energética (Mcal ha^{-1}), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Table 3. Effects of soil managements types on energy conversion (Mcal ha^{-1}), in the seasons (winter and summer) from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

Safrá	Tipos de manejo de solo				Média	C.V.
	PD	PCD	PCA	CM		
2004/05	9,63 A	9,41 A	8,34 A	9,19 A	9,14 b	40
2005/06	16,18 A	12,57 A	11,62 A	14,92 A	13,82 a	51
2006/07	21,24 A	10,86 B	11,34 B	14,76 B	14,55 a	41
2007/08	16,31 A	10,53 A	11,60 A	15,22 A	13,41 a	67
2008/09	17,03 A	11,55 C	12,34 BC	13,70 B	13,66 a	12
2009/10	11,23 A	8,94 B	8,08 B	9,16 B	9,35 b	19
Média	15,27 A	10,64 C	10,55 C	12,82 B	12,32	-

PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de disco; PCA: preparo convencional de solo com arado de aiveca; e CM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não mostram diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro

Tabela 4. Efeito de sistemas de rotação de culturas na conversão energética (Mcal ha⁻¹), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS*Table 4. Effects of crop rotation systems on energy conversion (Mcal ha⁻¹), in the seasons (winter and summer) from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil*

Safr	Sistemas de rotação de culturas				Média	C.V.
	Sistema I	Sistema II	Sistema III			
2004/05	6,90 A	10,11 A	9,25 A		9,14 b	40
2005/06	8,92 A	15,64 A	14,24 A		13,82 a	51
2006/07	10,26 A	16,41 A	14,73 A		14,55 a	41
2007/08	6,47 A	14,59 A	14,94 A		13,41 a	67
2008/09	12,31 A	13,06 A	14,50 A		13,66 a	12
2009/10	6,38 A	9,37 A	10,33 A		9,35 a	19
Média	8,54 A	13,18 A	13,00 A		12,32	-

Sistema I: trigo/soja; Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/sorgo; e Sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/sorgo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não mostram diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5. Balanço energético (Mcal ha⁻¹) do rendimento de matéria seca e das culturas de inverno e de verão, na média dos anos, de tipos de manejo do solo e de sistemas de rotação de culturas, de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS*Table 5. Energy balance (Mcal ha⁻¹) of dry matter and winter and summer crops yields, in the years mean, of soil management and crop rotation types, from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil*

Safr	Culturas					Média	C.V.
	Aveia branca	Ervilhaca	Soja	Sorgo	Trigo		
2004/05	22.539 AB	7.709 B	1.593 B	11.447 AB	25.130 A	13.684	18
2005/06	24.057 AB	6.329 B	13.659 B	37.723 A	21.154 B	20.584	29
2006/07	24.820 AB	5.915 B	19.250 B	37.044 A	20.253 B	21.456	43
2007/08	17.030 B	1.894 B	16.927 B	39.043 A	9.907 B	16.960	37
2008/09	30.296 A	2.600 B	15.372 AB	16.451 AB	21.986 A	17.413	24
2009/10	30.378 A	2.630 B	16.926 AB	21.896 A	18.565 AB	18.079	39
Média	24.853 A	4.573 B	13.954 AB	27.282 A	19.499 AB	18.032	-

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não mostram diferenças pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro

Tabela 6. Efeito de sistemas de manejo de solo no balanço energético (Mcal ha⁻¹), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS*Table 6. Effects of soil management systems on energy balance (Mcal ha⁻¹), in the seasons (winter and summer) from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil*

Safr	Tipos de manejo de solo				Média	C.V.
	PD	PCD	PCA	CM		
2004/05	24.115 A	24.596 A	21.871 A	24.492 A	23.369 c	22
2005/06	46.123 A	34.169 B	32.059 B	41.155 A	38.376 a	18
2006/07	61.674 A	30.673 C	30.868 C	42.449 B	41.416 a	14
2007/08	40.066 A	25.253 B	28.530 B	37.295 A	32.786 b	25
2008/09	41.138 A	27.644 B	29.520 B	32.859 AB	32.790 b	35
2009/10	41.233 A	31.591 A	29.341 A	33.052 A	33.804 b	35
Média	42.391 A	28.988 C	28.698 C	35.217 B	33.823	-

PD: plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de disco; PCA: preparo convencional de solo com arado de aiveca; e CM: cultivo mínimo, no inverno. Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na horizontal e minúscula, na vertical, não mostram diferenças, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 7. Efeito de sistemas de rotação de culturas no balanço energético (Mcal ha⁻¹), nas safras (inverno + verão) de 2004/05 a 2009/10. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS

Table 7. Effects of crop rotation systems on energy balance (Mcal ha⁻¹), in the seasons (winter and summer) from 2004/07 to 2009/10. Embrapa Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, Brazil

Safrá	Sistemas de rotação de culturas				
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Média	C.V.
2004/05	25.420 A	22.588 A	24.006 A	23.369 c	22
2005/06	33.813 A	40.240 A	38.655 A	38.376 a	18
2006/07	36.037 A	41.982 A	42.832 A	41.416 a	14
2007/08	23.057 A	31.746 A	36.723 A	32.786 b	25
2008/09	36.422 A	27.324 A	35.224 A	32.790 b	35
2009/10	25.342 A	31.215 A	38.351 A	33.804 b	35
Média	30.015 A	32.516 A	35.965 A	33.823	-

Sistema I: trigo/soja; sistema II: trigo/soja e ervilhaca/sorgo; e sistema III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/sorgo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não mostram diferenças, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro

resultados semelhantes de conversão e de balanço energético.

Quanto à conversão energética isolada das culturas de inverno e de verão dos sistemas de manejo do solo, houve diferença entre as médias de cada ano. Neste período de estudo, das culturas de grãos, de inverno e de verão, o sorgo foi mais eficiente na conversão de energia, em comparação à aveia branca, ervilhaca, soja e trigo (Tabela 2). Santos et al. (2007a), estudando sistemas de produção com integração lavoura e pecuária, destacaram a conversão energética do milho como cultura de verão. As culturas de aveia branca, ervilhaca, soja e trigo, não diferiram entre si quanto aos valores de conversão energética. Vale ressaltar que a ervilhaca foi semeada sem adubação de manutenção. Nesse caso, esta espécie foi semeada com as finalidades de produzir palha ao solo e de ser adubo verde, antecedendo a cultura do sorgo. No caso da ervilhaca destinada à cobertura de solo e à adubação verde, houve redução da entrada de energia fóssil, especialmente a relacionada à aplicação de fertilizantes nitrogenados.

No período de 2004/05 a 2009/10, houve diferença, em três dos seis anos estudados, na conversão energética anual (inverno + verão) e na média dos anos entre os sistemas de manejo de solo (Tabela 3). Nos anos de 2006/07, 2008/09 2009/10, o sistema plantio direto mostrou maior valor de conversão energética do que o dos demais tipos de manejo de solo. Hetz & Melo (1997) relatam que o acréscimo no rendimento de grãos das culturas (milho e trigo) e, conseqüentemente, a eficiência energética do sistema plantio direto aumentou com o passar do tempo. Estes autores levaram em conta a palha remanescente das espécies estudadas. Valores crescentes de balanço indicam aumento do rendimento de Mcal por Mcal investida, principalmente em função do aumento dos rendimentos de grãos, da matéria seca e de acréscimos de nitrogênio no sistema.

Na média conjunta deste período estudado (de 2004/06 a 2009/10), o sistema plantio direto mostrou conversão energética superior à do cultivo mínimo e à dos preparos convencionais de solo com arado de discos e com arado de aiveca. Conforme Hetz & Barrios (1997), os custos

energéticos dos tipos de manejo de solo com cultivo mínimo e com plantio direto foram notadamente menores do que os do preparo convencional de solo com arado de disco. Na avaliação dos primeiros dez anos (1986 a 1995) deste trabalho, realizada por Santos et al. (2003), o sistema plantio direto não diferiu do cultivo mínimo quanto aos índices de conversão de energia, mas foi superior aos preparos convencionais de solo com arado de disco e com arado de aiveca. A maior conversão energética no sistema plantio direto, em relação aos manejos com preparo convencionais de solo, pode ser explicada, em parte, pela redução das demandas energéticas propiciadas pela diminuição no número de operações agrícolas (Soares et al., 2007; Balbinot Jr. et al., 2009; Macedo, 2009; Vernetti Jr. et al., 2009). Além disso, deve-se considerar que, em todos os sistemas de manejo de solo do presente estudo, a palhada remanescente também foi computada como energia produzida, que no plantio direto foi mais elevada do que nos demais manejos estudados.

Na média de cada ano e na análise da média do conjunto dos anos, não houve diferenças entre a conversão energética dos diferentes sistemas de rotação de culturas (Tabela 4). O valor mais elevado, no tocante à conversão energética, tendeu a manifestar-se sob rotação de culturas, nos sistemas II e III, quando comparado ao sistema I.

A tendência dos sistemas II e III serem mais elevados do que o sistema I, em relação ao índice de conversão energética (Tabela 4), pode ser devida, em parte, à cultura do sorgo, que mostrou maior conversão energética do que a soja e as espécies de inverno estudadas. Hetz & Melo (1997) relatam o milho como cultura eficiente (127,218 MJ ha⁻¹) em converter energia, em comparação ao trigo (63,250 MJ ha⁻¹). Além disso, no presente estudo, o sorgo produziu mais palha do que o trigo. Santos et al. (2007a), avaliando sistemas de rotação de culturas no Paraná, também observaram maior eficiência energética do milho, em relação à soja e as espécies de inverno. Portanto, a rotação de culturas (sistemas II e III) foi mais eficiente na conversão de energia, em relação à monocultura trigo/soja (sistema I). Essa eficiência dos sistemas de rotação de culturas pode ser explicada, em parte,

pela quantidade de palha remanescente de sorgo, adicionada como energia produzida, que, neste presente estudo, foi maior do que a das culturas de inverno e a de soja.

No experimento conduzido por Zentner et al. (1984), no Canadá, durante doze anos, foi observado índice de conversão energética negativo entre os sistemas de rotação. Os mesmos autores verificaram que com um ano sem trigo (0,93) e com dois anos sem trigo (0,97), os índices foram maiores do que a monocultura desse cereal (0,68). Vale ressaltar que no Canadá só é possível uma safra por ano o que explica uma conversão energética inferior aos verificados no presente estudo.

Em sistemas de produção com integração lavoura e pecuária, durante seis anos, sob sistema plantio direto, Santos et al. (2006) observaram que os sistemas trigo/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho (índice 5,78), trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho (5,44), mostraram índice de conversão energética maior que os dos sistemas trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/milho (3,79) e trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja (4,33). No presente estudo, o milho foi a cultura que mostrou maior conversão energética; daí a importância desta gramínea em sistemas de rotação de culturas. Santos et al. (2007a) avaliaram a conversão energética de sete sistemas de rotação de culturas, durante nove anos e verificaram que os sistemas de rotação de culturas, na maioria das safras, foram energeticamente mais eficientes do que a sequência trigo/soja ou pousio/soja.

Os tipos de manejo de solo e de rotação de culturas avaliados mostraram índices de conversão energética positivos, o que significa que todos produziram mais energia do que consumiram. Neste caso, os tipos de manejo de solo ou de rotação de culturas estudados podem ser considerados sustentáveis do ponto de vista energético.

Houve diferenças entre as médias de cada ano, do balanço energético isolado do rendimento de matéria seca das culturas de inverno e de verão e dos tipos de manejo de solo. No período de 2004 a 2009, a aveia branca e o sorgo foram mais eficientes na conversão de energia do que a ervilhaca (Tabela 5). As culturas de soja e de trigo situaram-se numa posição intermediária para os valores de balanço energético. Resultados comparáveis de rendimentos energéticos foram obtidos na cultura de milho por Hetz & Melo (1997), Santos et al. (2007a;b), que compararam espécies de inverno com de verão, em tipos de manejos de solo e de rotação de culturas, por vários anos de estudos, em Concepción, Chile, e em Guarapuava, PR e Passo Fundo, RS, Brasil, respectivamente. A ervilhaca mostrou o menor retorno energético, porém, todas as demais espécies estudadas (aveia branca, ervilhaca, trigo, soja e sorgo), de inverno e de verão, consumiram menor energia do que retiraram do sistema.

Quando se compararam as médias do balanço energético de 2003/04 a 2009/10, houve diferenças entre os tipos de manejo do solo em quatro dos seis anos estudadas e na média conjunta dos anos (Tabela 6). No ano de 2006/07, o balanço energético do sistema plantio direto foi superior aos dos demais manejos de solo. Nos anos de 2005/06 e 2007/08, o plantio direto e o cultivo mínimo mostraram os melhores

balanços energéticos. No ano de 2008/09, o sistema plantio direto foi superior ao preparo convencional de solo com arado de disco e arado de aiveca para os valores de balanço energético.

Os índices de balanço energético do sistema plantio direto, na média conjunta dos anos (2004/05 a 2009/10), foram superiores aos demais tipos de manejo de solo (Tabela 6). O índice do cultivo mínimo posicionou-se entre os demais e o do sistema plantio direto. Neste estudo, o tipo de manejo de solo que mais consumiu energia (preparo convencional de solo com arado de aivecas) obteve o menor retorno energético. Na avaliação dos primeiros dez anos (1986 a 1995) dos resultados do experimento, realizada por Santos et al. (2007b), não foi observada diferença do índice entre o balanço energético do sistema plantio direto e do cultivo mínimo, mas foi superior aos preparos convencionais de solo com arado de disco e com arado de aiveca.

Na média de cada ano e na análise da média do conjunto dos anos, não houve diferenças entre o balanço energético dos diferentes sistemas de rotação de culturas (Tabela 7). Nos anos de 2006/07 e 2007/08, e na média dos anos estudados, os sistemas II e III tenderam a mostrar maior balanço energético, em relação ao sistema I. Isso pode ser devido, em parte, à cultura do sorgo, que foi uma das espécies mais eficiente no aproveitamento da energia disponível. Santos et al. (2007a), avaliando sistemas de produção com integração lavoura pecuária, constataram maiores índices de balanço energético nos sistemas II e III, os quais refletiram o efeito da cultura de milho, que melhor aproveitou a energia disponível, proporcionando aos sistemas maior rendimento de grãos.

Nos estudos de Zentner et al. (1989), com 12 sistemas de rotação de culturas incluindo trigo, durante 18 anos, respectivamente, os autores não verificaram diferenças de balanço energético entre os sistemas de rotação com esta gramínea e nem destes com monocultura do trigo.

Durante seis anos, sob plantio direto, conduzido em sistemas de produção com integração pecuária, Santos et al. (2006) observaram que os sistemas trigo/soja e aveia preta pastejada/milho (23.728 kg Mcal⁻¹) e trigo/soja, aveia preta + ervilhaca pastejadas/soja e aveia preta + ervilhaca pastejadas/milho (21.741 kg Mcal⁻¹) obtiveram maior índice de balanço energético do que os sistemas trigo/soja, aveia preta pastejada/soja e aveia preta pastejada/soja (11.553 kg Mcal⁻¹) e trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja (12.879 kg Mcal⁻¹). Em outro estudo de Santos et al. (2007a), conduzido por nove anos, foi constatado que os sistemas de rotação de culturas, na maioria das safras, foram energeticamente mais eficientes do que a monocultura trigo/soja ou pousio/soja.

CONCLUSÕES

O sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho demonstra os maiores índices de conversão e de balanço energético em relação ao sistema de preparo convencional com disco, sistema de preparo convencional com arado de aiveca e cultivo mínimo.

Os sistemas de rotação trigo/soja e ervilhaca/milho e trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca/soja tendem a ser mais eficientes energeticamente, em substituição à monocultura trigo e soja.

LITERATURA CITADA

- Balbinot Jr., A.A.; Moraes, A.; Veiga, M.; Pelissari, A.; Dickow, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v.39, n.6, p.1925-1933, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000107>
- Campos, A.T.; Campos, A.T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agrossistemas. *Ciência Rural*, v.34, n.6, p.1977-1985, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600050>
- Campos, A.T.; Saglietti, J.R.C.; Campos, A.T.; Bueno, O.C.; Resende, H.; Klosowski, E.S. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. *Ciência Rural*, v.33, n.4, p.667-672, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782003000400013>
- Carmo, M.S.; Comitre, V.; Dulley, R.D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. *Agricultura em São Paulo*, v.35, n.1, p.87-97, 1988.
- Cauwemberg, N.V.; Biala, K.; Biolders, C.; Broukaert, V.; Franchois, L.; Garcia Ciudad, V. Herni, 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 & Environment*, v.120, n.2-4, p.229-242, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.006>
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: CQFS/SBCS/NRS, 2004. 400p.
- Hetz, E.J.; Barrios, A.I. Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en Chile. *Agro-Ciencia*, v.13, n.1, p.41-47, 1997.
- Hetz, E.J.; Melo, L.A. Evaluación energética de un sistema de producción de maíz y trigo con cero labranza: el caso de Chequén, Concepcion, Chile. *Agro-Ciencia*, v.13, n.2, p.181-187, 1997.
- Macedo, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovação tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n. spe., p.133-146, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>
- Marchioro, N.P.X. Balanço ecoenergético: uma metodologia de análise de sistemas agrícolas. In: *Treinamento em Análise Ecoenergética de Sistemas Agrícolas*, 1., 1985, Curitiba, PR. Curitiba: Iapar, 1985. p.24-40.
- Pimentel, D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton : CRC Press, 1980. 475p.
- Pinto, M.S.V. Análise econômica e energética de sistema agroflorestal para implantação na terra indígena Aratibá – Município de Avaí – SP. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2002. 136p. Dissertação Mestrado.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. (Org.). *Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no Sul do Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010. 368p.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T.; Tomm, G.O.; Ambrosi, I. *Sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno e de verão, sob plantio*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 128p. (Documentos, 69).
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Tomm, G.O.; Manto, L. Conversão e balanço energético de culturas de inverno e de verão em sistemas de produção mistos sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.11, n-1-2, p.39-46, 2005.
- Santos, H.P. dos; Ignaczak, J.C.; Lhamby, J.C.B.; Carmo, C. de. Conversão e balanço energético de sistemas de manejo de solo e de rotação com culturas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.9, n.1-2, p. 113-120, 2003.
- Santos, H.P. dos; Tomm, G.O.; Spera, S.T.; Ávila, A. Efeito de práticas culturais na conversão e balanço energético. *Bragantia*, v.66, n.2, p.255-262, 2007b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200014>
- Santos, H.P.dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. (Org.). *Sistemas de produção para milho sob plantio direto*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007a. 344p.
- Soares, L.H. de B.; Muniz, L.C.; Figueiredo, R.S.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S.; Madari, B.E.; Machado, P.L.O. de A. Balanço energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no cerrado. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia*, 2007. 16p. (Pesquisa e Desenvolvimento, 26).
- Statistical Analysis Systems Institute - SAS. *SAS system for Microsoft Windows, version 8.2*. Cary, 2004.
- Streck, E.V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R.S.D.; Klamt, E.; Nascimento, P.C. do; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS; 2008. 222 p.
- Teixeira, A.H. de C.; Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, N.D.; Moura, M.S.B.; Bos, M.G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and ecosystems of semi-arid Brazil. *Journal of Hydrology*, v.362, n.1-2, p.110-127, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.011>
- Verneti Jr., F.D.; Gomes, A. da S.; Schuch, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. *Ciência Rural*, v.39, n.6, p.1708-1714, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000112>
- Zentner, R.P.; Campbell, D.W.; Campbell, C.A.; Reid, D.W. Energy consideration of crop rotation in southwestern Saskatchewan. *Canadian Agricultural Engineering*, v.26, n.1, p.25-29, 1984.
- Zentner, R.P.; Stumborg, M.A.; Campbell, C.A. Effect of crop rotation and fertilization on energy balance in typical production systems on the Canadian prairies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.25, n.2/3, p.217-232, 1989. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809\(89\)90053-4](http://dx.doi.org/10.1016/0167-8809(89)90053-4)