

Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto

Henrique P. Santos¹, Renato S. Fontaneli^{1,3}, Silvio T. Spera² & Geizon Dreon³

¹ Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, Km 294, CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil. Caixa Postal 451. E-mail: henrique.santos@embrapa.br; renato.fontaneli@embrapa.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agrossilvipastoril, Rodovia MT 222, Km 2,5, Zona Rural, CEP 78550-970, Sinop-MT, Brasil. Caixa Postal 343. E-mail: silvio.spera@embrapa.br

³ Universidade de Passo Fundo (UPF), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Rodovia BR 285, Km s/n, CEP 99001-970, Passo Fundo-RS, Brasil. Caixa Postal 566. E-mail: geizon_dreon@hotmail.com

RESUMO

A integração lavoura com pecuária (ILP) pode proporcionar vantagens ao agricultor, como a maior diversificação de produção, o menor consumo de energia e o menor risco econômico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a conversão e o balanço energético em sistema de produção ILP, sob sistema plantio direto (SPD), de 1997 a 2008, em Passo Fundo, RS. Os tratamentos consistiram de cinco ILPs: sistema I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta +ervilhaca/milho; sistema III - pastagens perenes da estação fria (festuca + trevo branco + trevo vermelho + cornichão); sistema IV - pastagens perenes da estação quente (pensacola + aveia preta + azevém + trevo branco + trevo vermelho + cornichão) e sistema V - alfafa para feno. Ressalta-se que no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V a lavoura retornou à pastagem e a pastagem à lavoura. O milho foi a espécie que apresentou o maior retorno energético em relação às demais culturas produtoras de grãos e as pastagens de inverno. Os sistemas I, III, IV e V foram os mais eficientes na conversão da energia. Os sistemas de produção ILP sob SPD foram energeticamente viáveis, pois, mostraram conversão e balanço energético positivo.

Palavras-chave: energia, pastagens de inverno e verão, rotação culturas

Energy conversion and balance of crop-livestock production systems under no-tillage

ABSTRACT

The integration of livestock and farming (ILP) may provide benefits to the farmer, such as greater diversification of crops, lower power consumption and lower risk costs. The objective of this study was to evaluate the energy conversion and the energy balance of crop -livestock production system integration (ILP) under no-tillage system, from 1997 to 2008 in Passo Fundo, RS. Treatments consisted of five ILP production systems: system I - wheat/soybean, white oats/soybean and vetches/corn; system II - wheat/soybean, white oats/soybean and black oats pasture + vetches/maize; system III - perennial pastures of the cold season (festuca + white + red clover clover + birdsfoot trefoil); system IV- perennial pasture of the hot season (Pensacola grass + black oat + rye grass + red and white clover + birdsfoot trefoil); and system V- alfalfa hay. However, in the summer of 2002, systems III, IV and V, the crop returned to the pasture and vice-versa. Corn was the specie which presented higher energy return in comparison to the other grain crops and winter and summer annual pastures. The systems I, III, IV and V showed most efficient energy conversion. The crops-livestock production system under no tillage is viable, and also showed positive energy conversion and balance.

Key words: energy, winter and summer annual pastures, crop rotation

INTRODUÇÃO

Numa propriedade agrícola a energia é gasta desde o estabelecimento até a colheita das espécies em cultivo. Dependendo das tecnologias usadas, poder-se-á colocar mais energia do que a retirada via rendimento de grãos ou pastejo por animais. Se a energia produzida for menor que a energia consumida, o balanço energético será negativo (Quesada & Costa Beber, 1990; Campos & Campos 2004; Soares et al., 2007; Balbinot Jr., 2009; Vernetti Jr et al., 2009; Santos et al., 2010a). Um fator de estrangulamento muito forte no consumo energético geral tem sido a utilização massiva nos agroecossistemas, de fertilizantes derivados de petróleo. Uma das maneiras de avaliar o nível de desenvolvimento da agricultura de uma região consiste na análise dos fluxos de energia associados a esta atividade (Cauwemberg et al., 2007). Assim, a importância da análise da conversão energética é fornecer parâmetros necessários para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões sobre quais sistemas de produção com ILP deveriam ser utilizados na propriedade rural com mais eficiência energética.

Pimentel (1980) desenvolveu, na década de 1970, os primeiros trabalhos sobre os índices de energia disponível e a energia consumida por algumas culturas produtoras de grãos, tais como: aveia branca, cevada, milho, soja e trigo; na mesma oportunidade, esses índices de conversão energética foram determinados e mostraram maiores valores para as culturas de milho e soja.

No sul do Brasil também foram desenvolvidos trabalhos relacionados à conversão e ao balanço energético para várias espécies isoladamente, dos quais se destacam os de Bueno & Simon (2003), Santos et al. (2006), Soares et al. (2007) e Santos et al. (2010a). Existem relativamente poucos trabalhos com conversão e balanço energético em sistemas de rotação de culturas ou em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (ILP).

Santos et al. (2010b) verificaram os melhores índices de produtividade cultural em milho e soja enquanto os piores foram observados em adubos verdes e ervilhaca. Nos sistemas de rotação com cevada e trigo a monocultura foi sempre inferior. Santos et al. (2005), também avaliaram índices de conversão e balanço energético, em sistemas de produção ILP com culturas produtoras de grãos e com pastagens e constataram que as rotações em que o milho era incluído, foram as que mostraram melhores índices de conversão.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a contribuição de culturas de inverno e de verão para conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, no sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtiveram-se dados de rendimento de grãos e 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 produção com integração lavoura-pecuária (ILP), instalado na Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo, RS, desde 1993, em solo classificado como Latossolo

Vermelho Distrófico típico (Streck et al., 2008). O presente trabalho foi embasado nos dados coletados entre 1997 e 2008.

Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (SPILP), assim definidos: sistema I - trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja *Glycine max* (L.), aveia branca (*Avena sativa* L.)/soja e ervilhaca (*Vicia sativa* L.)/milho (*Zea mays* L.); sistema II - trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) + ervilhaca/milho); sistema III - pastagens perenes da estação fria (festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) + trevo branco (*Trifolium repens* L.) + cornichão (*Lotus corniculatus* L.)); sistema IV - pastagens perenes da estação quente (pensacola (*Paspalum notatum* Flügge) + aveia preta + azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) + trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) + cornichão)) e sistema V - alfafa (*Medicago sativa* L.) para feno, acrescentado em 1994 ao experimento como tratamento adicional e com mesmo número de repetições, estabelecido (Tabela 1). A área de cada parcela foi de 20 m de comprimento por 20 m de largura (400 m²). As parcelas sob os sistemas III, IV e V retornaram ao sistema I, desde o verão de 1996. Porém, no verão de 2002, nos sistemas III, IV e V, a lavoura retornou à pastagem e a pastagem retornou a lavoura. Todas as espécies, tanto no inverno como no verão e as pastagens anuais de inverno, foram manejadas com sistema plantio direto. As pastagens anuais de inverno e as pastagens perenes foram pastejadas por bovinos mestiços, duas e cinco vezes por ano, respectivamente, com carga animal equivalente a 15 a 20 UA ha⁻¹ por 12 h, cada pastejo.

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura (Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004) 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 seguiram as indicações técnicas de cada cultura. A colheita dos grãos foi efetuada com colhedora automotriz especial para parcelas experimentais, exceto na cultura de milho, que foi realizada manualmente. Os valores de rendimento de grãos de aveia branca, milho, soja e trigo foram corrigidos até a umidade de 13%.

Na quantificação dos dados obtidos das culturas utilizaram-se as matrizes de produção a partir das quais se procederam às transformações para contabilizar a energia disponível e a consumida nesses processos. Para os cálculos dos diversos índices envolvendo sistemas de produção sob ILP, rendimentos 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); Santos & Fontaneli (2007); Soares et al. (2007) (Tabela 2). No caso da ervilhaca considerou-se rendimento a contribuição auferida como base no percentual de nitrogênio e a palha da matéria seca cujos dados foram transformados em Mcal (kcal x 1.000).

Como energia disponível ou receita energética (Mcal ha⁻¹) considerou-se a transformação em energia do rendimento de grãos, do rendimento de matéria seca, da quantidade de N na matéria seca e da quantidade de palha remanescente das espécies e, como energia consumida (Mcal ha⁻¹), estimou-se a soma dos coeficientes energéticos correspondentes aos corretivos,

Tabela 1. Sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob sistema plantio direto. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

| Sistema de produção | Ano | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Sistema I | E/M | Ab/S | T/S |
| (produção de grãos) | Ab/S | T/S | E/M |
| | T/S | E/M | Ab/S |
| Sistema II (produção de grãos + pastagem anual de inverno) | Ap+E/M | Ab/S | T/S |
| | Ab/S | T/S | Ap+E/M |
| | T/S | Ap+E/M | Ab/S |
| Sistema III | E/M | Ab/S | T/S |
| (produção de grãos+após PPF) | Ab/S | T/S | E/M |
| | T/S | E/M | Ab/S |
| Sistema IV(produção de verão após PPQ) | E/M | Ab/S | T/S |
| | Ab/S | T/S | E/M |
| | T/S | E/M | Ab/S |
| Sistema V (produção de grãos após alfafa) | E/M | Ab/S | T/S |
| | Ab/S | T/S | E/M |
| | T/S | E/M | Ab/S |

Ab: aveia branca; Ap: aveia preta; Al: alfafa; E: ervilhaca; M: milho; PPF: pastagem perene de estação fria (festaça + cornichão + trevo branco + trevo vermelho); PPQ: pastagem perene de estação quente (pensacola + cornichão + trevo branco + trevo vermelho); S: soja e T: trigo

Tabela 2. Coeficientes energéticos por hectare dos insumos das operações de campo, do rendimento de grãos e da matéria seca utilizados nos sistemas de produção ILP. Passo Fundo, RS

| Especificação | Unidade | Unidade (Kcal ha ⁻¹) | Referência |
|--|---------|----------------------------------|---------------------------|
| Energia consumida: | | | |
| Semente - alfafa | kg | 53.246 | Pimentel (1980) |
| - aveia branca ou aveia preta | kg | 4.108 | Pimentel (1980) |
| - ervilhaca | kg | 7.584 | Pimentel (1980) |
| - milho | kg | 24.806 | Pimentel (1980) |
| - soja | kg | 7.584 | Pimentel (1980) |
| - trigo | kg | 3.002 | Pimentel (1980) |
| Fertilizante - N | kg | 18.518 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - P | kg | 3.350 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - K | kg | 2.315 | Santos & Fontaneli (2007) |
| Fungicida - azoxistrobina + ciproconazol | L | 64.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - epoxiconazole | L | 64.910 | Pimentel (1980) |
| - metconazole | L | 64.910 | Pimentel (1980) |
| - piraclostrobina + epoxiconazol | L | 64.910 | Pimentel (1980) |
| - propoconazole | L | 64.910 | Pimentel (1980) |
| - triadimenol | L | 64.910 | Pimentel (1980) |
| Herbicida - atrazina | L | 99.910 | Pimentel (1980) |
| - atrazina + simazina | L | 99.910 | Pimentel (1980) |
| - bentazon | L | 99.910 | Pimentel (1980) |
| - diclofob-metil | L | 99.910 | Pimentel (1980) |
| - glifosato | L | 99.910 | Soares et al. (2007) |
| - imazaquin | L | 99.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - gramocil | L | 99.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - metulfuron-metil | L | 99.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - sethoxydim | L | 99.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - sulfentrazone | L | 99.910 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - trifluralin | L | 99.910 | Pimentel (1980) |
| Inseticida - clorpirifós | kg | 74.300 | Pimentel (1980) |
| - deltametrina | L | 86.910 | Pimentel (1980) |
| - formicida | kg | 74.300 | Soares et al. (2007) |
| - imidaclopride | L | 86.910 | Pimentel (1980) |
| - lambdailotrina | L | 86.910 | Pimentel (1980) |
| - monocrotofós | L | 86.910 | Soares et al. (2007) |
| Semeadura e adubação | h/e.t. | 6.994 | Pimentel (1980) |
| Aplicação de cobertura ou produto | h/e.t. | 2.356 | Pimentel (1980) |
| Colheita mecânica | h/cal | 187.181 | Pimentel (1980) |
| Energia disponível: | | | Santos & Fontaneli (2007) |
| - aveia branca | kg | 3.734 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - aveia preta | kg | 1.817 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - ervilhaca | kg | 2.319 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - milho | kg | 3.610 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - soja | kg | 4.000 | Santos & Fontaneli (2007) |
| - trigo | kg | 3.691 | Santos & Fontaneli (2007) |

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

fertilizantes, sementes, fungicidas e inseticidas usados em cada sistema de produção com ILP, e a energia consumida pelas operações (semeadura, adubação, aplicação de pesticidas e colheita). A conversão energética resulta da divisão da energia

disponível (Mcal/ha) pela consumida (Mcal/ha), em cada sistema de produção com ILP, enquanto o balanço energético resulta da diferença entre a energia disponível (Mcal/ha) e a consumida (Mcal/ha), em cada sistema de produção com ILP.

A análise estatística consistiu na análise da variância de conversão energética e balanço energético, dentro de cada ano (inverno + verão) e na média conjunta dos anos, nos períodos de 1997 a 2008. Na análise de variância consideram-se as energias disponível e consumida pelas culturas que compõem os sistemas de produção com ILP. Nas análises conjuntas foram considerados os tratamentos com efeito fixo e o efeito do ano, como aleatório. Os parâmetros em estudo foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SAS versão 9.2 (SAS, 2008). As médias das culturas foram avaliadas pelo teste de Duncan (devido aos tratamentos serem desiguais) e dos sistemas de produção, pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias da conversão e do balanço energético anuais e no conjunto de 1997 a 2008 e as comparações estatísticas do rendimento de matéria seca, das culturas de inverno e de verão,

dos seis sistemas de produção integração lavoura-pecuária se encontram nas Tabelas de 3 a 6.

A análise de variância da conversão e do balanço energético do conjunto dos anos resulta em efeito significativo para os anos e os sistemas de produção com ILP. Santos et al. (2006) obtiveram, estudando sistemas de produção com ILP, resultados semelhantes de conversão e de balanço energético.

Quanto à conversão energética isolada das culturas de inverno e de verão dos cinco sistemas de produção com ILP, houve diferença entre as médias de cada ano e nas médias dos anos de 1997 a 2008. Neste período de estudo das culturas de grãos, de inverno e de verão, o milho foi mais eficiente na conversão de energia em comparação com a aveia branca, pastagem de aveia preta + ervilhaca, ervilhaca, soja e trigo (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2006; 2010c), com sistemas de produção com ILP para conversão energética para milho.

Deve-se considerar que a ervilhaca foi semeada sem adubação de manutenção e mostrou índice de conversão energética igual

Tabela 3. Conversão energética (Mcal ha⁻¹) do rendimento de matéria seca e das culturas de inverno e de verão na média dos anos, de sistemas produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob sistema plantio direto, de 1997 a 2008. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS

| Cultura | Ano | | | | | | | | | | | | Média |
|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | |
| Aveia branca | 8,79 c | 8,67 c | 14,90 c | 18,03 c | 9,17 c | 13,01 b | 11,08 b | 9,42 c | 14,80 b | 5,37 d | 15,66 a | 15,97 a | 12,07 b |
| Ap + E (pastagem) | 11,61 b | 7,95 c | 4,83 d | 7,45 e | 7,10 c | 7,46 c | 3,14 c | 6,39 d | 4,36 d | 6,62 cd | 2,73 e | 7,34 c | 6,42 c |
| Milho | 19,30 a | 17,42 a | 27,44 a | 36,47 a | 22,10 a | 11,91 b | 25,43 a | 7,40 d | 23,77 a | 21,21 a | 11,62 b | 17,63 a | 20,14 a |
| Ervilhaca | 5,52 d | 11,45 b | 18,19 b | 24,29 b | 13,54 b | 10,07 b | 12,11 b | 13,75 b | 13,54 bc | 8,27 bc | 10,53 b | 8,65 c | 12,49 b |
| Soja | 7,10 cd | 4,67 d | 19,19 b | 26,46 b | 13,54 b | 12,38 bc | 11,17 b | 1,77 e | 12,76 bc | 19,76 a | 4,04 d | 17,19 a | 12,50 b |
| Trigo | 5,39 d | 11,33 b | 17,23 bc | 11,40 d | 8,40 c | 16,74 a | 11,97 b | 15,45 a | 12,42 c | 9,24 b | 7,16 c | 11,60 b | 11,53 b |
| Média | 9,07 | 10,25 | 16,96 | 20,68 | 12,40 | 11,93 | 12,48 | 9,03 | 13,60 | 11,75 | 8,63 | 13,06 | 12,52 |
| C.V. (%) | 33 | 18 | 18 | 17 | 19 | 32 | 25 | 23 | 18 | 17 | 18 | 19 | - |
| F tratamento | 58** | 152** | 45** | 105** | 80** | 7** | 61** | 186** | 63** | 171** | 185** | 34** | 71** |

Ap: aveia preta e E: ervilhaca. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. **: nível de significância de 1%

Tabela 4. Conversão energética (Mcal ha⁻¹) de cinco sistemas produção sob ILP (inverno e verão) e na média dos anos, sob sistema plantio direto, de 1997 a 2008. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS

| Sistema de produção | Ano | | | | | | | | | | | | Média |
|---------------------|--------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|---------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | |
| Sistema I | 10,22 | 10,97 | 20,96 a | 24,19 | 14,16 | 16,53 a | 15,42 | 8,83 | 16,23 ab | 14,83 | 9,64 | 14,91 | 14,74 a |
| Sistema II | 8,37 | 9,29 | 15,21 b | 18,06 | 11,41 | 13,65 ab | 11,30 | 7,51 | 11,76 b | 12,78 | 7,44 | 14,02 | 11,73 b |
| Sistema III | 8,71 | 10,42 | 20,10 ab | 24,07 | 13,89 | 12,64 b | 14,87 | 8,18 | 16,45 ab | 14,06 | 8,87 | 15,59 | 13,99 b |
| Sistema IV | 9,74 | 10,50 | 20,44 ab | 25,25 | 14,65 | 10,41 b | 14,87 | 8,91 | 17,23 a | 13,04 | 9,67 | 15,62 | 14,19 a |
| Sistema V | 9,92 | 10,24 | 20,14 ab | 24,81 | 14,04 | 10,66 b | 14,87 | 7,73 | 15,38 ab | 13,59 | 9,62 | 14,60 | 13,80 a |
| Média | 9,39 E | 10,28 E | 19,37 B | 23,27 A | 13,63 CD | 12,78 D | 14,26 CD | 8,23 E | 15,41 C | 13,66 CD | 9,05 E | 14,95 CD | 13,69 |
| C.V. (%) | 43 | 38 | 23 | 31 | 33 | 23 | 37 | 25 | 28 | 23 | 30 | 18 | - |
| F tratamento | 1ns | 1ns | 3* | 2ns | 1ns | 8** | 1ns | 1ns | 3* | 1ns | 1ns | 1ns | 5** |

I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. *: nível de significância de 5% e **: nível de significância de 1%

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 sistemas produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob sistema plantio direto, de 1997 a 2008. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS

| Cultura | Ano | | | | | | | | | | | | Média |
|-------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | |
| Aveia branca | 15.817 b | 18.092 c | 33.578 b | 36.174 b | 16.586 c | 23.080 ab | 20.630 b | 19.063 b | 29.534 b | 8.056 e | 26.666 a | 32.222 a | 23.291 b |
| Ap + E (pastagem) | 11.308 c | 15.715 d | 7.266 d | 18.038 d | 12.565 d | 11.977 c | 4.250 e | 14.452 c | 9.266 d | 11.083 d | 5.845 c | 12.492 c | 11.188 d |
| Milho | 25.924 a | 32.250 a | 39.421 a | 51.902 a | 34.891 a | 21.136 b | 40.281 a | 11.608 d | 42.792 a | 36.495 a | 20.107 b | 29.741 ab | 32.212 a |
| Ervilhaca | 4.168 d | 9.603 e | 10.440 d | 12.652 e | 9.661 e | 7.644 c | 8.253 d | 8.857 e | 9.015 d | 5.225 f | 6.852 c | 5.765 d | 8.178 e |
| Soja | 10.180 c | 5.313 f | 29.467 c | 35.589 b | 22.570 b | 19.389 b | 15.551 c | 1.267 f | 16.950 c | 23.850 b | 4.530 c | 26.062 b | 17.560 c |
| Trigo | 9.061 c | 22.437 b | 36.195 ab | 21.524 c | 12.658 d | 28.818 a | 22.056 b | 32.062 a | 30.505 b | 20.990 c | 21.970 b | 28.296 b | 23.881 b |
| Média | 12.743 | 15.235 | 26.061 | 29.313 | 18.155 | 18.674 | 18.504 | 14.552 | 23.018 | 17.617 | 14.328 | 22.430 | 19.385 |
| C.V. (%) | 29 | 17 | 14 | 13 | 15 | 37 | 22 | 23 | 14 | 17 | 20 | 18 | - |
| F tratamento | 74** | 296** | 132** | 194** | 160** | 15** | 115** | 328** | 252** | 212** | 230** | 79** | 161** |

Ap: aveia preta e E: ervilhaca. Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan. **: nível de significância de 1%

Tabela 6. Balanço energético (Mcal ha⁻¹) de cinco sistemas produção sob ILP (inverno e verão) e na média dos anos sob sistema plantio direto, de 1997 a 2008. Embrapa Trigo. Passo Fundo, RS

| Sistema de produção | Ano | | | | | | | | | | | | Média |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | |
| Sistema I | 25.580 | 32.371 | 60.993 | 63.704 | 39.641 | 49.602 a | 41.709 | 25.826 | 48.475 | 41.647 ab | 28.476 | 47.895 | 42.160 ab |
| Sistema II | 25.869 | 33.840 | 56.589 | 66.866 | 40.825 | 48.221 a | 39.149 | 27.500 | 45.918 | 44.700 a | 28.733 | 53.848 | 42.671 a |
| Sistema III | 23.563 | 30.446 | 59.254 | 62.323 | 38.318 | 39.623 ab | 39.638 | 24.064 | 49.645 | 38.558 ab | 26.381 | 50.641 | 40.204 ab |
| Sistema IV | 25.861 | 30.570 | 60.324 | 66.343 | 40.768 | 30.964 b | 39.881 | 25.976 | 52.060 | 36.310 b | 28.637 | 50.566 | 40.688 ab |
| Sistema V | 27.058 | 29.824 | 59.395 | 64.942 | 39.641 | 32.129 b | 40.316 | 22.039 | 46.896 | 38.181 ab | 28.531 | 46.205 | 39.596 b |
| Média | 25.586 F | 31.410 E | 59.310 B | 64.835 A | 39.838 D | 40.108 D | 40.139 D | 25.080 F | 48.599 C | 39.879 D | 28.152 EF | 49.830 C | 41.064 |
| C.V. (%) | 29 | 30 | 16 | 12 | 15 | 29 | 21 | 29 | 11 | 17 | 17 | 24 | - |
| F tratamento | 1ns | 1ns | 1ns | 1ns | 1ns | 7** | 1ns | 1ns | 2ns | 3* | 1ns | 3** | 1ns |

I: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; II: trigo/soja, aveia branca/soja pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho; III: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de inverno; IV: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após pastagem perene de verão e V: trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula, na horizontal, não apresentam diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. *: nível de significância de 5% e **: nível de significância de 1%

aos de aveia branca, soja e trigo, caso em que esta espécie foi semeada com a finalidade de produzir palha ao solo e como adubo verde, antecedendo à cultura de milho. No caso da ervilhaca destinada à cobertura de solo e à adubação verde, constatou-se redução da entrada de energia fóssil, especialmente daquela relacionada à aplicação de fertilizantes. Porém, o consórcio aveia preta + ervilhaca, para pastejo, foi a cultura de menor retorno energético. Nos trabalhos desenvolvidos com crotalaria em sistemas de rotação, como cultura de cobertura e adubação verde, Almeida et al. (2008) e Genro Junior et al. (2009) obtiveram maior rendimento de grãos para soja e milho, respectivamente.

Neste período de estudo os índices foram maiores que a unidade (1,0) significando que as culturas foram conversores positivos de energia mas, no período de 1995 a 2000, no trabalho realizado por Santos et al., (2005), a pastagem com parte de aveia preta + ervilhaca (0,77), mostrou índice de conversão energética negativo. A diferença entre os índices deste trabalho e o de Santos et al., (2005), pode estar relacionada ao fato de que, no primeiro período, a palha do resíduo remanescente foi considerada, energia disponível. 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; esses autores contabilizaram a palha remanescente das espécies estudadas. Valores crescentes de balanço indicam aumento do rendimento de Mcal por Mcal investida principalmente em função do aumento do rendimento de grãos, da matéria seca e de acréscimos de nitrogênio no sistema.

Deve-se considerar que o rendimento energético é dependente do nível tecnológico empregado. Carmo et al. (1988) encontraram, avaliando o cultivo de produtos diferenciados, balanços muito diferentes entre as propriedades sendo os grãos o produto de maior retorno por unidade calórica investida, e as hortaliças e os produtos animais, exceto o mel, os menores; contudo, é preferível a análise dos sistemas de produção com ILP ao invés de se analisar as culturas isoladamente.

No período de 1997 a 2008, ocorreu diferença em três dos doze anos estudados, na conversão energética anual (inverno + verão) e na média dos anos entre os sistemas de produção com ILP (Tabela 4). Na média dos anos os sistemas I (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho), III (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de inverno), IV (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de verão) e V (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/

milho, após alfafa) foram os mais eficientes energeticamente do que o sistema II (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho). A razão desta diferença em favor dos sistemas I, III, IV e V, em relação ao sistema II, pode estar relacionada à adubação de manutenção e de cobertura da pastagem da aveia preta + ervilhaca. A ervilhaca foi semeada sem adubação de manutenção, o que demandou menos energia consumida e, ao mesmo tempo, mais energia disponível aos referidos sistemas e ao milho, que foi cultivado sem adubação de cobertura nitrogenada; isto, por si só, tornou os sistemas I, III, IV e V mais eficientes energeticamente repercutindo diretamente na conversão energética dos sistemas, ou seja, nesses sistemas não se utilizaram os 45 kg ha de N em cobertura, indicados para a cultura de milho. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos et al. (2006) com sistemas de produção com ILP, sob sistema plantio direto; todavia, todos os sistemas de produção com ILP foram superiores à unidade (1,0), significando que todos eles são conversores positivos de energia produzindo 10,55 a 12,73 vezes mais energia do que a consumida (energia não renovável). Segundo Verneti Jr. et al. (2009) e Santos et al. (2010b), isto sinaliza haver um balanço energético positivo e sustentado entre os sistemas estudados.

Houve diferenças entre médias dos sistemas e nas médias dos anos de 1997 a 2008 do balanço energético isolado do rendimento de matéria seca das culturas de inverno e de verão, dos cinco sistemas de produção com ILP; neste período o milho foi a cultura mais eficiente na conversão de energia do que as demais, inclusive as pastagens de inverno (Tabela 5). Resultados concordantes de rendimentos energéticos foram obtidos na cultura de milho, por Hetz & Melo (1997), Santos et al. (2007) e Santos et al. (2010b) que compararam espécies de inverno com as de verão, em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas em vários anos de estudos, em Concepción, no Chile e em Guarapuava, PR, e Passo Fundo, RS, no Brasil, respectivamente. A pastagem de aveia preta + ervilhaca e a ervilhaca mostraram os menores retornos energéticos. Porém, todas as demais espécies estudadas (aveia branca, trigo e soja), tanto de inverno como de verão, consumiram menor energia que a retirada do sistema.

De modo similar à conversão energética, é preferível analisar o balanço energético na forma de sistemas de produção com ILP, ao invés de analisar as culturas isoladamente. No período de 1997 a 2008 houve diferença entre dois dos doze anos estudados, na conversão anual (inverno + verão) e na média dos anos entre os sistemas de produção com ILP (Tabela 6). No ano de 2002

os sistemas I (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho) e II (trigo/soja, aveia branca/soja e pastagem de aveia preta + ervilhaca/milho) foram mais eficientes energeticamente que os sistemas IV (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de verão) e V (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após alfafa). Na safra agrícola de 2006 o sistema II mostrou maior índice de balanço energético em relação ao sistema III (trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de inverno), IV. Nesses dois anos o sistema II foi o mais eficiente energeticamente em relação aos sistemas IV e V; na média dos anos o sistema II confirmou os maiores índices de balanço energético em comparação com o sistema V.

Pelo verificado no presente trabalho, todos os sistemas estudados apresentaram balanço energético positivo, significando que todos os sistemas de produção com ILP superaram o consumo de energia, caso em que os sistemas avaliados podem ser considerados sustentáveis, do ponto de vista energético.

No trabalho de Santos & Fontaneli (2007), com sistemas de rotação de culturas com trigo durante nove anos, sob preparo convencional de solo, no inverno, e sob semeadura direta, no verão, concluiu-se que nos sistemas de rotação com um, dois e três invernos sem trigo, os índices de balanço energético foram maiores que no pousio de inverno; por outro lado, os autores não verificaram diferenças entre os sistemas com rotação de culturas nem em monocultura nos valores do balanço energético.

Considerando tanto as culturas de inverno como as de verão e os sistemas de produção com ILP, pode-se afirmar que a tecnologia agrícola aplicada de lavoura + pecuária aos sistemas avaliados no presente estudo foi eficiente em termos de conversão energética. No caso dos sistemas de produção se destacaram os sistemas I - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, III - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de inverno, IV - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de verão e V - trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após alfafa. De acordo com Bueno & Simon (2003), quando uma nova tecnologia é introduzida em uma propriedade agrícola, pode-se aumentar o consumo de energia e, se este consumo de energia for eficientemente aproveitado em sistemas de produção com ILP pode-se, a médios e longos prazos, garantir a estabilidade e a elevação do rendimento de grãos das espécies e, conseqüentemente, no retorno energético.

Pelos resultados, os sistemas de produção com ILP foram os mais eficientes energeticamente com destaque para as alternativas de espécies de inverno (aveia branca, aveia preta + ervilhaca, ervilhaca e trigo) e de verão (milho e soja), integrando lavoura com pecuária, todas manejadas com sistema plantio direto sendo que as rotações de culturas confirmaram a viabilidade do sistema plantio direto, razão pela qual o sistema plantio direto continua sendo usado por um número muito elevado de agricultores como prática de manejo para melhorar a qualidade do solo, da água e do meio ambiente, juntamente com a rotação de culturas.

CONCLUSÕES

A cultura de milho destacou-se como a de maior retorno energético em relação às demais culturas produtoras de grãos e às pastagens de inverno.

Os sistemas trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de inverno; trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho, após pastagem perene de verão e trigo/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho após alfafa, foram os mais eficientes na conversão energética.

A conversão e o balanço energético positivo dos sistemas que integram lavoura com pecuária, tornaram sustentável o sistema plantio direto.

LITERATURA CITADA

- Almeida, V.P. de; Alves, M.C.; Silva, E.C. da; Oliveira, S.A. da. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.3, p.1.227-1.237, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300031>>
- 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/S0103-84782009005000106>>
- Bueno, O.C.; Simon, E.J. Energia no agroecossistema milho em assentamento rural. *Energia na Agricultura*, v.18, n.1, p.20-30, 2003.
- Campos, A.T.; Campos, A.T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. *Ciência Rural*, v.34, n.6, p.1977-1985, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782004000600050>>
- 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. <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftp/iea/rea/tomo38-1988/artigo9.pdf>>. 03 Set. 2012.
- 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 and 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/SBSC/NRS, 2004. 400p.
- Genro Junior, S.A.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Albuquerque, J.A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. *Ciência Rural*, v.39, n.1, p.65-73, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000100011>>
- Hetz, E.J.; Melo, L.A. Evaluación energética de un sistema de producción de maíz y trigo con cero labranza: el caso de Chequén, Concepción, Chile. *Agro-Ciencia*, v.13, n.2, p.181-187, 1997.
- Pimentel, D. (Ed.). *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton: CRC Press, 1980. 475 p.

- Quesada, G.M.; Costa Beber, J.A. Energia e mão-de-obra. *Ciência Hoje*, v.11, n.62, p.21-26, 1990.
- Quesada, G.M.; Costa Beber, J.A.; Souza, S.P. de. Balanços energéticos agropecuários. Uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*, v.39, n.1, p.20-28, 1987.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção de grãos de milho sob plantio direto. In: Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S., Spera, S.T. (Orgs.). *Sistemas de produção para milho, sob plantio direto*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. cap.11, p.297-312.
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T. *Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no Sul do Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010b. 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. (Embrapa Trigo. Documento, 69).
- Santos, H.P. dos; Fontaneli, Ren.S.; Fontaneli, Rob.S. Conversão e balanço energético de sistemas de produção para cereais de inverno, sob plantio direto. In: Santos, H.P. dos; Fontaneli, Ren.S.; Spera, S.T., (Eds.). *Sistemas de produção para cereais de inverno sob plantio direto no Sul do Brasil*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010a. cap.11, p.333-348.
- Santos, H.P.; Fontaneli, R.S.; Spera, S.T.; Maldaner, G.L. Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária (SPILP), sob plantio direto. In: Embrapa Trigo. *Trigo: resultados de pesquisa – safra 2009*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010c. p.71-87. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).
- Santos, H.P.; 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. <http://www.fepagro.rs.gov.br/upload/20120217171644vol11_n01_02__art05.pdf>. 03 Set. 2012.
- Santos, H.P.; 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, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200014>>
- SAS Institute. *SAS system for Microsoft Windows version 9.2*. Cary, 2008.
- 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. (Embrapa Agrobiologia. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 26).
- 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. 222p.
- Verneti Jr., 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>>