

CONVERSÃO ENERGÉTICA E BALANÇO ENERGÉTICO DE SISTEMAS DE MANEJO DE SOLO E DE ROTAÇÃO COM CULTURAS PRODUTORAS DE GRÃOS NO INVERNO E NO VERÃO

Henrique Pereira dos Santos^{1,2}

João Carlos Ignaczak¹

Julio Cesar Barreneche Lhamby¹

Cristiano do Carmo³

Introdução

Do ponto de vista energético, assume importância crescente o conhecimento do desempenho da rotação de culturas. Assim, tem sido observado que toda a vez que se acrescentam novos fatores para modernizar a agricultura pode-se estar intensificando o uso de energia. O objetivo deste trabalho foi avaliar a conversão energética e o balanço energético de sistemas de manejo de solo e de rotação com culturas produtoras de grãos no inverno e no verão.

Metodologia

No presente trabalho, foram usados dados obtidos no experimento de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, instalado na Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo, RS, de 1986 a 1995, em solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. A área vinha sendo cultivada com trigo, no inverno, e com soja, no verão.

¹ Pesquisador da Embrapa Trigo, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. e-mail: hpsantos@cnpt.embrapa.br, igna@cnpt.embrapa.br, julio@cnpt.embrapa.br.

² Bolsista CNPq-PQ.

³ Eng.-Agr., ex-bolsista CNPq-IC.

Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de manejo de solo – 1) plantio direto, 2) preparo de solo com implemento cultivado mínimo JAN, no inverno, e semeadura direta, no verão, 3) preparo convencional de solo com arado de discos e com grade de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão, e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas e com grades de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão – e três sistemas de rotação de culturas: sistema I (trigo/soja), sistema II [trigo/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) e sorgo (de 1994 a 1995)] e sistema III [trigo/soja, aveia preta (de 1986 a 1989) ou aveia branca (de 1990 a 1995)/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) e sorgo (de 1994 a 1995)] (Tabela 1).

Em novembro de 1985, antes da instalação do experimento, houve a descompactação e correção da acidez de solo, com calcário, da área experimental de acordo com os resultados da análise de solo. As amostragens de solo, para determinação dos níveis de nutrientes e do teor de matéria orgânica, foram realizadas em todas as parcelas, após a colheita de cada cultura de inverno e de verão.

A semeadura, o controle de plantas daninhas e os tratamentos fitossanitários foram realizados para cada cultura, conforme a recomendação, quando disponível, e a colheita das culturas produtoras de grãos foi realizada com colhedora especial para parcelas experimentais. O milho foi colhido manualmente. Os rendimentos de grãos de aveia branca, de milho, de soja e de trigo foram corrigidos para umidade de 13 %.

A conversão energética dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas estudados resulta da divisão da energia produzida pela consumida, em cada sistema de manejo ou de rotação. O balanço energético de cada sistema de manejo de solo e de rotação de culturas resulta da diferença entre a energia produzida e a consumida, em cada sistema de manejo ou de rotação. Como energia produzida, considerou-se a transformação do rendimento de grãos ou da quantidade de N na matéria seca em energia. Como energia consumida, considerou-se a soma dos coeficientes energéticos equivalentes aos corretivos, aos fertilizantes, às sementes, aos fungicidas, aos herbicidas e aos inseticidas usados em cada sistema, bem como a

energia consumida pelas operações de preparo de solo (aração e gradeação), de cultivo mínimo, de semeadura, de adubação, de aplicação de produtos, de adubação nitrogenada e de colheita. No caso da aveia preta e da ervilhaca, de 1989 a 1993, foi considerado como rendimento a contribuição ao solo de 90 kg de N/ha, e na ervilhaca semeada de 1994 a 1995, foi levado em conta o percentual de nitrogênio da matéria seca. Os dados foram transformados em Mcal (kcal x 1.000).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. A parcela principal foi constituída pelos sistemas de manejo de solo e as subparcelas pelos sistemas de rotação de culturas. A parcela principal mediu 360 m² (4 m de largura por 90 m de comprimento), e as subparcelas, 40 m² (4 m de largura por 10 m de comprimento). Foram efetuadas análises de variância da conversão energética e do balanço energético de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, dentro de cada ano (inverno + verão) e na média conjunta dos anos, nos períodos de 1986 a 1995. Nas análises de variância, consideraram-se como tratamentos as culturas componentes dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas estudados. Nas análises conjuntas, considerou-se o efeito tratamento como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. Devido ao número balanceado de parcelas nos sistemas de manejo de solo, as médias foram comparadas entre si, pelo teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade. Devido ao número de parcelas diferentes por sistemas de rotação de culturas, a avaliação dos sistemas, em todas as análises, foi realizada pelo teste F, usando-se contrastes que incluem os diferentes tratamentos dos sistemas envolvidos em cada comparação.

Resultados

As médias da conversão energética e as do balanço energético, anuais e no conjunto dos anos, nos períodos de 1986 a 1995, e as comparações estatísticas através de teste de Duncan ou de contrastes, dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas,

podem ser observadas nas Tabelas 2 a 5. Inicialmente, são apresentados os resultados sobre a conversão energética e, posteriormente, sobre o balanço energético. A análise conjunta da conversão energética e do balanço energético apresentou significância para o efeito ano. O efeito ano indica que essas variáveis foram afetadas pela variação climática.

Na maioria dos anos (1987/88, 1988/89, 1991/92, 1993/94, 1994/95 e 1995/96), a conversão energética diferiu significativamente entre os sistemas de manejo de solo estudados (Tabela 2). Nos anos de 1986/87, de 1989/90, de 1990/91 e de 1992/93, não houve diferenças significativas entre os sistemas de manejo de solo para conversão energética. No ano de 1987/88, o plantio direto, o cultivo mínimo e o preparo convencional de solo com arado de aivecas apresentaram os valores mais elevados para conversão energética. Entretanto, os dois últimos tratamentos foram semelhantes estatisticamente ao preparo convencional de solo com arado de discos. No ano de 1988/89, o cultivo mínimo, o plantio direto e o preparo convencional de solo com arado de discos foram superiores ao preparo convencional de solo com arado de aivecas, para conversão energética. No ano de 1991/92, o preparo convencional de solo com arado de discos e o cultivo mínimo mostraram os maiores índices de conversão energética. Todavia, o último tratamento foi igual significativamente ao plantio direto e ao preparo convencional de solo com arado de aivecas. No ano de 1993/94, o cultivo mínimo e o plantio direto manifestaram índices mais elevados para conversão energética. Contudo, este último tratamento foi semelhante significativamente ao preparo convencional de solo com arado de discos. No ano de 1994/95, o cultivo mínimo foi superior aos demais sistemas de manejo de solo para conversão energética. No ano de 1995/96, o cultivo mínimo e o plantio direto foram superiores ao preparo convencional de solo com arado de discos e com arado de aivecas.

Na média conjunta dos anos (1986/87 a 1995/96), houve diferença significativas entre os índices de conversão energética, em função dos sistemas de manejo de solo (Tabela 2). O cultivo mínimo (6,53) e o plantio direto (6,38) apresentaram conversão energética superior à do preparo convencional de solo com arado de aivecas

(6,06). O preparo convencional de solo com arado de discos (6,27) mostrou índice de conversão energética intermediária, não se diferenciando dos outros três sistemas de manejo de solo. Provavelmente essa diferença possa ser devida ao menor rendimento de grãos observado, principalmente nas culturas de aveia branca (2.682 kg/ha), de milho (5.887 kg/ha), de sorgo (6.109 kg/ha) e de trigo (2.412 kg/ha), sob esse sistema de manejo de solo (preparo convencional de solo com arado de aivecas). No plantio direto e no cultivo mínimo esses valores foram maiores (aveia branca: 2.959 e 2.938 kg/ha; milho: 6.772 e 6.826 kg/ha; sorgo: 6.992 e 6.958 kg/ha; e trigo: 2.727 e 2.661 kg/ha, respectivamente).

Em todos os anos estudados e na média conjunta dos anos, houve diferenças significativas entre a conversão energética dos diferentes sistemas de rotação de culturas estudados (Tabela 3). O valor mais elevado, na maioria dos anos, no tocante à conversão energética, manifestou-se no sistema II, em comparação com os sistemas I e III.

Na média conjunta dos anos, os sistemas II (6,75) e III (6,44) foram superiores ao sistema I (5,03) para o índice de conversão energética (Tabela 3). Por sua vez, o sistema II foi superior ao sistema III para conversão energética. Portanto a rotação de culturas (sistemas II e III) mostrou efeito positivo na conversão de energia, em relação a monocultura trigo/soja (sistema I), e o melhor sistema foi o sistema II.

Pelo observado, todos os sistemas de manejo de solo, bem como as rotações de culturas, mostraram índice de conversão energética superior ao da unidade (1,0). Logo, do ponto de vista energético, todos os sistemas de manejo ou de rotação estudados podem ser considerados sustentáveis.

Para o balanço energético nos anos (1987/88, 1988/89, 1990/91, 1991/92, 1993/94, 1994/95 e 1995/96) e na média conjunta dos anos, houve diferenças significativas entre os sistemas de manejo de solo estudados (Tabela 4). Nos anos de 1986/87, de 1989/90 e de 1992/93, os sistemas de manejo de solo não diferiram entre si para os índices de balanço energético. Nos anos de 1987/88 e de 1990/91, o plantio direto, o cultivo mínimo e o preparo conven-

cional de solo com arado de aivecas apresentaram os maiores valores para balanço energético, enquanto que o preparo convencional de solo com arado de discos os menores valores. No ano de 1988/89, o cultivo mínimo, o plantio direto e o preparo convencional de solo com arado de discos foram superiores ao preparo convencional de solo com arado de aivecas para balanço energético. No ano de 1991/92, o preparo convencional de solo com arado de discos e o cultivo mínimo mostraram os valores mais elevados para balanço energético. Contudo, o último tratamento foi igual significativamente ao plantio direto e ao preparo convencional de solo com arado de aivecas. Nos anos de 1993/94 e de 1995/96, o cultivo mínimo e o plantio direto foram superiores para balanço energético, em relação ao preparo convencional de solo com arado de discos e com arado de aivecas. No ano de 1994/95, o plantio direto situou-se numa posição intermediária para balanço energético, entre o cultivo mínimo e o preparo convencional de solo com arado de discos e com arado de aivecas.

Na média conjunta dos anos (1986/87 a 1995/96), o maior valor de balanço energético ocorreu no cultivo mínimo (16.434 Mcal/ha) e no plantio direto (16.252 Mcal/ha). Contudo, o plantio direto foi semelhante estatisticamente ao preparo convencional de solo com arado de discos (15.578 Mcal/ha) (Tabela 4). O preparo convencional de solo com arado de aivecas mostrou o menor valor para balanço energético (14.987 Mcal/ha), porém significativamente equivalente ao preparo convencional de solo com arado de discos.

Em todos os anos estudados e na média conjunta dos anos, houve diferenças significativas entre o balanço energético obtido nos diferentes sistemas de rotação de culturas avaliados (Tabela 5). O valor mais elevado, de balanço energético, na maioria dos anos, ocorreu nos sistemas II e III.

Na média conjunta dos anos (de 1986/87 a 1995/96), para o índice de balanço energético, os sistemas II (16.171 Mcal/ha) e III (15.899 Mcal/ha) foram estatisticamente semelhantes entre si, mas superiores ao sistema I (14.838 Mcal/ha) (Tabela 5). Para o balanço energético, repetiu-se, em parte, o desempenho da conversão energética dos sistemas de rotação de culturas, quando o sistema II superou a monocultura trigo/soja (sistema I).

Deve ser levado em conta que as tecnologias usadas nos sistemas de manejo de solo ou de rotação de culturas estudados foram eficientes em termos de conversão energética e de balanço energético. Por outro lado, o maior índice de conversão energética e de balanço energético ocorreu nos sistemas de manejo conservacionista (cultivo mínimo e plantio direto), em comparação com os sistemas de preparo convencional de solo (arado de discos e de aivecas). Os sistemas II e III, por serem mais eficientes e por incorporarem a prática de rotação de culturas em suas composições, devem ser preferidos, em substituição ao sistema I (monocultura trigo/soja).

Tabela 1. Efeito de sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas para trigo. Passo Fundo, RS

Sistema de rotação	Parcela principal				Subparcela										
					1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	
Sistema I	PD	PCD	PCA	PM	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	T/S	
Sistema II	PD	PCD	PCA	PM	T/S	E/M	T/S	E/M	T/S	E/M	T/S	E/So	T/S	E/So	
	PD	PCD	PCA	PM	E/M	T/S	E/M	T/S	E/M	T/S	E/M	T/S	E/So	T/S	
Sistema III	PD	PCD	PCA	PM	T/S	Ap/S	E/M	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/So	Ab/S	T/S	
	PD	PCD	PCA	PM	Ap/S	E/M	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/So	
	PD	PCD	PCA	PM	E/M	T/S	Ap/S	Ab/S	T/S	E/M	Ab/S	T/S	E/So	Ab/S	

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PM: cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão.

Ab: aveia branca, Ap: aveia preta, E: ervilhaca, M: milho, S: soja, So: sorgo, e T: trigo.

Tabela 2. Conversão energética de sistemas de manejo de solo em cada ano (inverno + verão) e na média dos anos, de 1986 a 1995. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo do solo				Média
	PD	PCD	PCA	PM	
	----- Mcal/ha -----				
1986/87	3,91 A	3,88 A	3,94 A	3,91 A	3,91
1987/88	5,68 A	5,25 B	5,42 AB	5,55 AB	5,48
1988/89	7,67 A	7,64 A	6,90 B	7,88 A	7,52
1989/90	8,31 A	8,72 A	8,32 A	8,36 A	8,43
1990/91	2,90 A	2,61 A	2,86 A	2,97 A	2,84
1991/92	7,20 B	7,73 A	7,29 B	7,41 AB	7,41
1992/93	5,05 A	5,19 A	4,96 A	5,19 A	5,10
1993/94	4,09 AB	3,81 B	3,47 C	4,31 A	3,92
1994/95	11,61 B	11,35 B	11,10 B	12,23 A	11,57
1995/96	7,38 A	6,50 B	6,32 B	7,46 A	6,91
Média	6,38 A	6,27 AB	6,06 B	6,53 A	6,31

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PM: cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão.

Médias seguidas da mesma letra, na horizontal, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Tabela 3. Conversão energética de sistemas de rotação de culturas estudados dentro de cada ano (inverno + verão) e na média dos anos, pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1986 a 1995. Passo Fundo, RS

Ano	Sistema de rotação de culturas					
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	I x II	I x III	II x III
	----- Mcal/ha -----			Contraste entre sistema (P>F)		
1986/87	5,00	3,86	3,58	**	**	**
1987/88	3,85	6,94	5,04	**	**	**
1988/89	4,52	8,64	7,78	**	**	**
1989/90	4,71	10,24	8,46	**	**	**
1990/91	3,27	2,18	3,13	**	ns	**
1991/92	5,81	7,60	7,81	**	**	ns
1992/93	5,85	4,27	5,40	**	**	**
1993/94	3,95	3,20	4,39	**	**	**
1994/95	7,44	13,56	11,63	**	**	**
1995/96	5,91	6,97	7,21	**	**	ns
Média	5,03	6,75	6,44	**	**	**

Sistema I: trigo/soja.

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) ou sorgo (de 1994 a 1996).

Sistema III: trigo/soja, aveia preta (de 1986 a 1989) ou aveia branca (de 1990 a 1996)/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) ou sorgo (de 1994 a 1996).

ns: não significativo.

** : nível de significância de 1 %.

Tabela 4. Balanço energético de sistemas de manejo de solo em cada ano (inverno + verão) e na média dos anos, de 1986 a 1995. Passo Fundo, RS

Ano	Manejo do solo				Média
	PD	PCD	PCA	PM	
	----- Mcal/ha -----				
1986/87	10.668 A	10.326 A	10.529 A	10.694 A	10.554
1987/88	14.288 A	12.647 B	13.290 AB	13.562 AB	13.447
1988/89	20.551 A	19.872 A	18.035 B	20.930 A	19.847
1989/90	19.697 A	20.249 A	18.924 A	19.674 A	19.636
1990/91	8.279 AB	6.843 B	7.880 AB	8.370 A	7.843
1991/92	18.591 B	19.907 A	18.570 B	18.923 AB	18.998
1992/93	15.130 A	15.363 A	14.498 A	15.257 A	15.062
1993/94	11.553 A	10.231 B	8.965 C	12.053 A	10.700
1994/95	25.663 B	24.580 C	23.986 C	26.850 A	25.270
1995/96	18.103 A	15.761 B	15.199 B	18.026 A	16.772
Média	16.252 AB	15.578 BC	14.987 C	16.434 A	15.813

PD: plantio direto.

PCD: preparo convencional de solo com arado de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas, no inverno, e semeadura direta, no verão.

PM: cultivo mínimo, no inverno, e semeadura, direta, no verão.

Médias seguidas da mesma letra, na horizontal, não apresentam diferenças significativas ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Tabela 5. Balanço energético de sistemas de rotação de culturas estudados em cada ano (inverno + verão) e na média dos anos, pelo teste F, empregando-se o método de contrastes, de 1986 a 1995. Passo Fundo, RS

Ano	Sistema de rotação de culturas					
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	I x II	I x III	II x III
	----- Mcal/ha -----			Contraste entre sistema (P > F)		
1986/87	15.294	10.390	9.084	**	**	**
1987/88	11.390	17.163	11.655	**	ns	**
1988/89	14.860	22.537	19.716	**	**	**
1989/90	14.728	23.164	18.920	**	**	**
1990/91	9.505	5.174	9.069	**	ns	**
1991/92	16.258	18.955	19.940	**	**	*
1992/93	18.146	12.453	15.773	**	**	**
1993/94	11.236	8.366	12.078	**	*	**
1994/95	20.797	27.360	25.367	**	**	**
1995/96	16.166	16.147	17.391	ns	ns	*
Média	14.838	16.171	15.899	**	**	ns

Sistema I: trigo/soja.

Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) ou sorgo (de 1994 a 1996).

Sistema III: trigo/soja, aveia preta (de 1986 a 1989) ou aveia branca (de 1990 a 1996)/soja e ervilhaca/milho (de 1986 a 1993) ou sorgo (de 1994 a 1996).

ns: não significativo.

*: nível de significância de 5 %.

** : nível de significância de 1 %.