

Análise econômica de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas

Economic analysis of soil management systems and crop rotation

Henrique Pereira Santos ^{1(*)}

Renato Serena Fontaneli²

Anderson Santi³

Ricardo Lima de Castro⁴

Taynara Possebom⁵

RESUMO

Poucos são os estudos que relatam a análise econômica das espécies cultivadas pelos agricultores. Além disso, esses estudos têm sido realizados com as culturas de inverno ou verão, isoladamente. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar economicamente utilizando a receita líquida, os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, em um período de dezoito safras agrícolas (1998/1999 a 2015/2016). Os tratamentos consistiram em quatro tipos de manejo de solo: 1) sistema plantio direto, 2) cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão, 3) preparo convencional de solo com arado de discos mais grade de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão, e 4) preparo convencional de solo com arado de aivecas mais grade 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 ou sorgo; e sistema III - trigo/soja, ervilhaca/milho ou 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. O sistema plantio direto, quando comparado com outros sistemas de manejo de solo (preparo convencional de solo com arado de discos – R\$ 663,60, preparo convencional de solo com arado de aiveca – R\$ 658,40 e cultivo mínimo – R\$ 889,70), por dezoito safras agrícolas, apresentou maior receita líquida por hectare (R\$ 1.098,60). Porém, o cultivo mínimo situou-se em uma posição intermediária para receita líquida por hectare. A rotação de culturas com intervalo de dois anos foi mais eficiente economicamente por hectare do que a monocultura trigo/soja.

Palavras-chave: custo; receita líquida; preparo de solo; cultivo mínimo; plantio direto.

- 1 Dr.; Engenheiro Agrônomo; Pesquisador da Embrapa Trigo, 1974, na área de sistemas de rotação de culturas, sistema de manejo de solo, sistemas de produção de grãos e sistema de produção com integração de lavoura-pecuária; E-mail: henrique.santos@embrapa.br (*) Autor para correspondência;
- 2 PH.D.; Engenheiro agrônomo; Pesquisador da Embrapa Trigo e Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, na área de pastagens e forragens e sistema de produção com integração lavoura-pecuária; E-mail: renato.fontaneli@embrapa.br;
- 3 Msc.; Engenheiro Agrônomo; Pesquisador da Embrapa Trigo na área de Mudanças Climáticas. E-mail: anderson.santi@embrapa.br
- 4 Dr.; Engenheiro Agrônomo; pesquisador da Embrapa Trigo na área de melhoramento de trigo convencional e de duplo propósito; E-mail: ricardo.castro@embrapa.br
- 5 Acadêmica de Agronomia e Estagiária da Embrapa Trigo na área de sistemas de produção. E-mail: thay-possebom@hotmail.com

Recebido para publicação em 21/12/2018 e aceito em 06/03/2020

ABSTRACT

Few studies report the economic analysis of species cultivated by farmers. In addition, these studies have been carried out with winter or summer crops, in isolation. The objective of this study was to economically evaluate, through net revenue, the soil management and crop rotation systems over a period of eighteen agricultural seasons (1998/1999 to 2015/2016). The treatments consisted of four types of soil management: 1) no-tillage system, 2) minimum tillage in winter, and no-tillage in summer, 3) conventional tillage with disc plow plus disc harrow in winter, and no-tillage in summer, and 4) conventional tillage with moldboard plow plus disc harrow in winter and no-tillage in summer; and three crop rotation systems: system I - wheat / soybean; system II - wheat / soybean and vetches / corn or sorghum; and system III - wheat / soybean, vetch / corn or sorghum and white oat / soybean. The experimental design was randomized blocks with split plots and three replications. The main plot consisted of soil management types and the subplots by crop rotation systems. The no-tillage system when compared to other soil management systems (conventional tillage with disc plow - R \$ 663.60, conventional tillage with moldboard plow - R \$ 658.40 and minimum tillage - R \$ 889 , 70) for eighteen agricultural harvests presented the highest net revenue per hectare (R \$ 1,098.60). However, the minimum crop was in an intermediate position for net revenue per hectare. Two-year crop rotation was more economically efficient per hectare than wheat / soybean monoculture.

Key-words: costs; net return; soil preparation; minimum tillage; no-tillage.

INTRODUÇÃO

Entre os sistemas de manejo de solo para lavoura de soja, o sistema plantio direto, nas décadas de 1980 e de 1990, apresentava valores de custos operativo e fixo, desfavoráveis em comparação ao preparo convencional de solo, em razão principalmente do custo dos herbicidas utilizados. Posteriormente, com a maior oferta de insumos e semeadoras mais apropriadas, o sistema plantio direto tornou-se uma alternativa viável e expandiu-se rapidamente, na região sul-brasileira, em detrimento dos manejos de solo com preparos convencionais de solo, por minimizar a erosão hídrica nas lavouras anuais produtoras de grãos (DENARDIN et al., 2018). Entretanto, há poucos estudos de análise econômica para a comprovação desse sistema de manejo de solo, em experimentos de longa duração. Inclusive essa questão é reportada por Costa et al., (2012) como limitante para o entendimento de sistemas integrados de produção agropecuária.

Ressalta-se, já a partir da década de 1980, que foram desenvolvidos trabalhos de longa duração relativos a análises econômicas de sistemas de rotação conjuntamente para culturas de inverno (tais como aveia branca, cevada, colza, ervilhaca, linho, trevo vesiculoso, trigo e tremoço) e de verão (milho e soja), na Região Sul do Brasil (SANTOS et al., 2019). Nesse caso, a rotação de culturas fundamentada na diversificação de espécies tanto de inverno como de verão, tem contribuído para aumentar a estabilidade de produção e o rendimento de grãos, tais como cevada e trigo.

No início da década de 1990, iniciaram também estudos de longa duração sobre análise econômica de sistemas de produção de grãos, com preparo convencional de solo no inverno (aveia branca, aveia preta, ervilhaca, linho e trigo) e semeadura direta no verão (milho e soja). Porém, somente na metade dessa mesma década, é que foram desenvolvidos trabalhos de análise

econômica conjunta de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, com culturas de inverno e de verão, de longa duração, de 1994/1995 a 1997/1998. Nesse estudo, o sistema plantio direto e o cultivo mínimo apresentaram receita líquida por hectare mais elevada do que o preparo de solo com arado de aiveca. O preparo convencional de solo com arado de discos enquadrou-se em uma posição intermediária para a receita líquida por hectare (SANTOS et al., 2015a; 2015b; e 2015e). Os mesmos autores, não obtiveram diferenças significativas em receita líquida por hectare, decorrentes dos sistemas de rotação de culturas. Porém, deve-se levar em consideração que a rotação de culturas viabiliza o sistema plantio direto, que é um dos métodos mais eficientes de conservação de solo.

A maior receita líquida por hectare dos sistemas conservacionistas (sistema plantio direto e cultivo mínimo) de manejo de solo, em comparação aos sistemas de preparo convencional de solo (com arado de discos ou com arado de aiveca), pode ser explicada, em parte, pela diminuição no número de operações agrícolas. Além disso, essa diferença pode estar relacionada com o rendimento das espécies produtoras de grãos, tanto de inverno como de verão, e com o preço de venda das mesmas no mercado (TOWNSEND et al., 2016a; MULLER et al., 2017).

Os sistemas conservacionistas de manejo de solo e de rotação de culturas com espécies produtoras de grãos teriam maior potencial de rentabilidade do que os sistemas de preparo convencionais de solo e a monocultura de inverno e de verão. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade econômica utilizando a receita líquida (entende-se por receita líquida a diferença entre receita bruta e o custo total. Custo total é a soma do custo variável e do custo fixo), de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas produtoras de grãos, no inverno e no verão, em um período de aproximadamente vinte anos.

Material e Métodos

O ensaio está instalado no município de Passo Fundo, RS (28° 15' S, 52° 24' W e 684 m de altitude) desde 1985, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (WEILER et al., 2017), de textura muito argilosa com relevo suave ondulado, e com teores médios de argila de 72%, de silte, 13% e de areia, 15%. O clima da região é do tipo Cfa, com temperatura média anual de 17,5 °C e precipitação anual de 1.750 mm bem distribuída durante o ano, sem estação seca. Os resultados apresentados neste trabalho referem-se às safras agrícolas de 1998/1999 a 2015/2016.

A adubação de manutenção foi realizada de acordo com a indicação para cada cultura e baseada nos resultados da análise de solo (MANUAL..., 2016). As amostragens de solo, para determinação dos níveis de nutrientes e do nível de matéria orgânica, foram realizadas anualmente em todas as parcelas, após a colheita das culturas de verão.

Na época adequada foi realizada a semeadura (aveia branca, ervilhaca e trigo, semeados, no inverno: maio a junho; e milho ou sorgo e soja, semeados na primavera: de setembro a outubro), o controle de plantas daninhas (sempre que foi necessário), e os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme indicação para cada cultura; a colheita de grãos foi efetuada com colhedora especial para parcelas experimentais. O milho ou o sorgo foi semeado com a ervilhaca ainda em ciclo vegetativo, sendo esta dessecada posteriormente com herbicida de pré ou pós-emergência. O rendimento de grãos (aveia branca, milho, soja, sorgo e trigo) foi determinado a partir da colheita de parte da parcela, ajustando-se o rendimento para umidade de 13%. Na ervilhaca, foi avaliado o rendimento de matéria seca após o corte e, posteriormente, o acúmulo de nitrogênio da matéria

seca convertido em ureia. Foi usado delineamento experimental de 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 área da parcela principal foi de 360 m² (4 m de largura por 90 m de comprimento) e das subparcelas, 40 m² (4 m de largura por 10 m de comprimento). Os tratamentos foram constituídos por quatro sistemas de manejo de solo — 1) sistema plantio direto, 2) cultivo mínimo, no inverno, e semeadura direta, no verão, 3) preparo convencional de solo com arado de discos mais grade de discos, no inverno, e semeadura direta, no verão e 4) preparo convencional de solo com arado de aiveca mais grade de discos, no inverno e semeadura direta, no verão — e por três sistemas de rotação de culturas: sistema I (trigo/soja), sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho, em 1998, 1999, 2000 e 2002 ou o sorgo, no lugar do milho de 2003 a 2015) e sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho, em 1998, 1999, 2000 e 2002 ou o sorgo, no lugar do milho de 2003 a 2015, e aveia branca/soja) (Tabela 1). Deve-se levar em consideração que, esses experimentos de longa duração, são completos, ou seja, todas as culturas tanto de inverno como as de verão, estiveram presentes em todos os anos, na área experimental.

Tabela 1. Caracterização ⁽¹⁾ dos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas.

Sistema rotação	Parcela principal – sistemas de manejo de solo				Sub-parcelas – rotação de culturas		
Sistema I	SPD	PCD	PCA	CM	T/S	T/S	T/S
Sistema II	SPD	PCD	PCA	CM	T/S	E/M ou So	T/S
	SPD	PCD	PCA	CM	E/M ou So	T/S	E/M ou So
Sistema III	SPD	PCD	PCA	CM	T/S	E/M ou So	Ab/S
	SPD	PCD	PCA	CM	E/M ou So	Ab/S	T/S
	SPD	PCD	PCA	CM	Ab/S	T/S	E/M ou So

Nota: Em que: ⁽¹⁾ SPD: sistema plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo. Ab: aveia branca, E: ervilhaca, M: milho, S: Soja, So: sorgo e T: trigo.

A análise econômica foi determinada nos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas pelo cálculo da receita líquida. Entende-se por receita líquida a diferença entre receita bruta (rendimento de grãos e de nitrogênio da ervilhaca, convertido em ureia e multiplicado pelo preço de venda como produto comercial) e o custo total. Custo total é a soma do custo variável (insumos + operações de campo) e do custo fixo (exemplo: depreciação de instalações, máquinas e equipamentos, e juros sobre capital). A receita bruta foi contabilizada utilizando os preços médios de venda dos produtos, utilizando a média do ano de 2016, e os custos foram calculados a partir de dados de novembro de 2016, conforme dados estimados pelo custo de produção, do ciclo de cultura anual, de inverno ou de verão de cada espécie estudada (CONAB, 2016) (Tabelas 2, 3 e 4).

Análise econômica

A análise estatística consistiu na análise de variância da receita líquida, dentro de cada ano (inverno + verão) e na média conjunta dos anos, no período de 1998/1999 a 2015/2016. Na análise da variância, considerou-se como receita líquida a diferença entre receita bruta e o custo total dos

Tabela 2. Médias de rendimento de grãos (RG) e de nitrogênio (RN), e transformação em reais por hectare, das culturas de inverno (junho a outubro) e de verão (setembro a maio), de 1998/1999 a 2015/2016, da parcela principal, composta pelos sistemas de manejo de solo.

Manejo de solo	Cultura	Rendimento		Receita líquida
		Grãos kg.ha ⁻¹	Nitrogênio	
CM	Aveia branca	3.273		1.505,76
	Ervilhaca		216	311,02
	Milho	7.511		3.680,51
	Soja	2.638		3.113,08
	Sorgo	5.091		1.680,07
	Trigo	2.837		1.673,85
	PCA	Aveia branca	3.168	
Ervilhaca			209	300,88
Milho		6.603		3.235,72
Soja		2.542		3.000,25
Sorgo		4.829		1.593,60
Trigo		2.648		1.562,19
PCD		Aveia branca	3.189	
	Ervilhaca	460	228	328,50
	Milho	6.545		3.207,17
	Soja	2.523		2.976,97
	Sorgo	4.811		1.587,66
	Trigo	2.722		1.605,81
	SPD	Aveia branca	3.353	
Ervilhaca			232	334,61
Milho		8.057		3.948,07
Soja		2.644		3.120,39
Sorgo		4.952		1.634,21
Trigo		2.996		1.767,53

Fonte: Conab, 2016.

Nota: Em que: SPD: sistema plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo.

tipos de manejo de solo (parcela principal) e de rotação de culturas (subparcelas). 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 9.4 (SAS, 2017), licenciado para a Embrapa Trigo. As médias dos tipos de manejo de solo (parcela principal) ou de rotação de culturas (subparcela) foram comparadas pelo teste de Duncan e de esfericidade, ao nível de 95% de probabilidade.

Resultados e Discussão

A análise conjunta dos resultados para receita líquida por hectare (das parcelas principais: sistemas de manejo de solo e das subparcelas: rotação de culturas), nas safras agrícolas de 1998/1999 a 2015/2016, mostraram significância para os efeitos do ano, de sistemas de manejo de solo, de sistemas de rotação

Tabela 3. Médias de rendimento de grãos (RG) e de nitrogênio (RN), e transformação em reais por hectare, das culturas de inverno e de verão, de 1998/1999 a 2015/2016, da subparcela, composta pelos sistemas de rotação de culturas.

Rotação de culturas	Cultura	Rendimento		Receita líquida R\$.ha ⁻¹
		Grãos kg. ⁻¹	Nitrogênio kg.ha ⁻¹	
Sistema I	Trigo (RG)	2.341		1.381,23
	Soja (RG)	2.549		3.008,35
Sistema II	Trigo (RG)	2.838		1.674,75
	Soja RG	2.622		3.094,30
Sistema III	Ervilhaca (RN)		209	300,88
	Milho (RG)	6.984		3.422,31
	Sorgo (RG)	4.872		1.607,83
	Trigo (RG)	3.222		1.901,06
	Soja (RG)	2.571		3.054,17
	Ervilhaca (RN)		228	328,50
	Milho (RG)	7.374		3.613,33
	Sorgo (RG)	4.999		1.649,66
	Aveia branca (RG)	3.246		1.493,16
	Soja (RG)	2.605		3.073,86

Fonte: Conab, 2016.

Nota: Em que: Sistema I (trigo/soja); Sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho em 1998, 1999, 2000 2002 e sorgo, no restante dos anos); e Sistema III (trigo/soja, ervilhaca/sorgo e aveia branca.

Tabela 4. Custos totais por hectare, das culturas anuais de inverno e de verão, utilizadas nas parcelas principais e subparcelas, composta pelos sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, respectivamente.

Despesa/ha	Cultura (R\$)					
	AB	Ervilhaca	Milho	Soja	Sorgo	Trigo
Adubação	672,48	491,52	698,50	491,52	698,50	648,40
Agrotóxico	183,55	0,00	323,22	421,34	323,22	236,25
Depreciação	94,23	94,23	123,10	204,08	123,10	205,59
Manutenção	71,42	42,99	107,49	18,68	107,49	42,99
Operações máquina	103,71	90,00	142,00	168,97	142,00	180,40
Semente	101,20	304,00	445,00	300,00	225,00	245,00
Custo total	1.226,59	1.022,74	1.839,31	1.604,59	1.619,31	1.558,63

Fonte: Conab, 2016.

Nota: Em que: AB= Aveia branca.

de culturas e para a interação ano x rotação de culturas ($p > 0,01$) (Tabela 5). Resultados similares para ano, sistemas de manejo de solo, rotação de culturas e interação entre ano x rotação de culturas foram obtidos por Santos et al. (2011). As condições climáticas, que variaram de um ano para outro, influenciaram no rendimento de grãos e de matéria seca das espécies em estudo (SANTOS et al., 2015c).

Isso, por sua vez, pode ser observado em algumas safras agrícolas quando se compararam sistemas de rotação de culturas (sub-parcelas) quanto à receita líquida por hectare. Não houve significância entre as análises conjuntas dos dados da receita líquida por hectare para a interação ano x sistemas de manejo de solo ($p < 0,05$). Para as avaliações repetidas no tempo da receita

líquida por hectare, pelo teste da esfericidade, houve significância somente para ano ($p > 0,01$) e não houve para a interação entre ano x sistemas de manejo do solo, ano x rotação de culturas e para a interação tripla ano x sistemas de manejo do solo x rotação de culturas. Pelo observado, por este teste, não houve diferença da receita líquida por hectare entre os sistemas de manejo de solo durante dezoito safras agrícolas.

As médias anuais e conjunta das safras agrícolas de 1998/1999 a 2015/2016, da receita líquida por hectare, proporcionadas pelos sistemas de manejo de solo e de rotação culturas, podem ser observadas nas Tabelas 5 e 6. Na análise anual, verificou-se que houve diferenças significativas na receita líquida por hectare ($p > 0,01$), em virtude dos sistemas de manejo de solo (parcelas principais), em somente uma das dezoito safras agrícolas (Tabela 5). Na safra agrícola de 2000/2001, o sistema plantio direto (R\$ 2.544,00) e cultivo mínimo (R\$ 2.330,40) apresentaram receita líquida por hectare superior aos preparos convencionais de solo (com arado de discos – R\$ 1.675,50 e com arado de aiveca – R\$ 1.407,30).

Tabela 5. Análise anual e conjunta das parcelas principais da receita líquida média, por hectare, de sistemas de manejo do solo, no ano (inverno + verão) e na média das safras agrícolas, de 1998/1999 a 2015/2016.

Ano	Sistema de manejo de solo				Média	C.V. (%)	F tratamento
	SPD	PCD	PCA	CM			
Receita líquida (R\$.ha ⁻¹)							
1998/1999	973,90	353,70	353,60	863,20	636,10 df	0,7	2,3ns
1999/2000	2.229,10	1.639,10	1.501,40	2.091,70	1.865,30 a	0,8	2,0ns
2000/2001	2.544,00 A	1.675,50 B	1.407,30 B	2.330,40 A	1.989,30 a	1,0	10,0**
2001/2002	823,20	316,30	372,60	836,80	587,20 ef	1,4	1,6ns
2002/2003	1.175,40	606,30	662,10	830,20	818,50 df	0,9	2,2ns
2003/2004	626,70	600,40	509,50	513,20	562,50 ef	0,5	0,1ns
2004/2005	-688,70	-616,40	-821,00	-703,10	-707,30 g	0,4	0,3ns
2005/2006	460,40	292,10	327,50	508,10	397,00 f	0,7	0,1ns
2006/2007	1.473,80	1.085,70	1.221,50	1.512,30	1.323,40 bc	0,7	0,2ns
2007/2008	-1.474,40	-1.795,20	-1.895,50	-1.628,50	-1.698,40 h	6,7	0,4ns
2008/2009	894,70	815,20	895,30	753,90	839,80 df	0,7	0,1ns
2009/2010	1.201,10	627,80	252,00	658,40	684,80 df	1,5	1,0ns
2010/2011	1.916,00	1.531,80	1.711,80	1.756,20	1.728,90 ab	0,5	0,1ns
2011/2012	883,80	408,40	371,80	552,70	554,20 ef	1,2	0,6ns
2012/2013	1.605,60	1.218,30	1.267,70	1.239,70	1.332,80 bc	0,8	0,3ns
2013/2014	1.396,10	909,20	943,60	1.152,50	1.100,40 cd	0,8	0,2ns
2014/2015	1.230,20	755,20	827,30	929,40	935,50 ce	0,9	0,2ns
2015/2016	2.504,50	1.520,70	1.942,90	1.816,70	1.946,20 a	1,2	0,5ns
Média	1.098,60 A	663,60 C	658,40 C	889,70 B	827,56	-	24**

Nota: Em que: SPD: sistema plantio direto; PCD: preparo convencional de solo com arado de discos; PCA: preparo convencional de solo com arado de aivecas; e CM: cultivo mínimo. Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 95 % de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo; e **: nível de significância de 99%; C.V. (%): coeficiente de variação, em percentagem.

Na análise conjunta das parcelas principais, das safras agrícolas de 1998/1999 a 2015/2016, verificaram-se diferenças significativas para receita líquida por hectare decorrentes dos sistemas de manejo de solo – parcela principal (Tabela 5). O sistema plantio direto (R\$ 1.098,60) mostrou receita líquida por hectare mais elevada do que o cultivo mínimo (R\$ 889,70), preparo convencional de solo

com arado de discos (R\$ 663,60) e preparo convencional de solo com arado de aiveca (R\$ 658,40). Porém, o cultivo mínimo situou-se em uma posição intermediária para receita líquida por hectare.

Na análise econômica realizada, anteriormente, nesse mesmo experimento, nas safras agrícolas de 1994/1995 a 1997/1998, o sistema plantio direto (R\$ 412,49) foi superior para receita líquida por hectare aos preparos convencionais com arado de disco (R\$ 339,90) e de aiveca (R\$ 322,18). Nesse caso, também, o cultivo mínimo (R\$ 389,37) enquadrou-se em uma posição intermediária para receita líquida por hectare. A maior receita líquida por hectare dos sistemas conservacionistas de manejo de solo (sistema plantio direto e cultivo mínimo), em comparação aos sistemas de preparo convencional de solo (preparo convencional de solo com arado de discos e com arado de aivecas), pode ser explicada, em parte, pela diminuição no número de operações agrícolas (TOWNSEND et al., 2016a; MULLER et al., 2017). Além disso, essa diferença está relacionada diretamente com os rendimentos de grãos das culturas de aveia branca (3.273, 3.189 e 3.168 kg.ha⁻¹), de milho (7.511, 6.545 e 6.603 kg.ha⁻¹), de sorgo (5.091, 4.811 e 4.829 kg.ha⁻¹), de soja (2.638, 2.523 e 2.542 kg.ha⁻¹), e de trigo (2.837, 2.722 e 2.648 kg.ha⁻¹), componentes dos tratamentos do cultivo mínimo, preparo convencional de solo com arado de discos e preparo convencional de solo com arado de aivecas, respectivamente. No período de estudo, os sistemas baseados em revolvimento do solo, produziram menos e, conseqüentemente, proporcionaram menor retorno bruto do que o sistema plantio direto através das culturas componentes, tais como: aveia branca: 3.353 kg.ha⁻¹, milho: 8.057 kg.ha⁻¹, sorgo: 4.952 kg.ha⁻¹, soja: 2.644 kg.ha⁻¹ e trigo: 2.996 kg.ha⁻¹ (Tabela 2).

Nesse caso, o sistema plantio direto superou os demais sistemas de manejo de solo para rendimento de grãos e, conseqüentemente, para a receita líquida por hectare. A adoção do sistema de plantio direto visa manter ou aumentar a capacidade produtiva do solo (SANTOS et al., 2015e), pela redução dos efeitos dos riscos advindos do ambiente. Assim, o sistema de plantio direto com o uso de rotação de culturas, permite diversificar alternativas de cultivo do solo pela diminuição do risco econômico (CONCEIÇÃO et al., 2013).

Além disso, o sistema de plantio direto mantém cobertura de solo quase que permanentemente, durante o ano todo, o que ajuda na diminuição da erosão do solo (TOWNSEND et al., 2016b). Pelo observado no estudo conduzido por Costa et al. (2015), o sistema plantio direto tem sido eficiente na manutenção e melhoria da fertilidade e dos estoques de carbono do solo. Pelas avaliações em ensaio de longa duração, como este que está sendo relatado, os sistemas de plantio direto mantem-se como a maneira mais rentável para cultivo de espécies de inverno (aveia branca, ervilhaca e trigo) como de verão (milho, sorgo e soja).

As receitas líquidas por hectare mais elevada, em todos os sistemas de manejo de solo (parcela principal) e de rotação de culturas (sub-parcelas) foram observadas, nas safras agrícolas de 1999/2000 (R\$ 1.865,30), 2000/2001 (R\$ 1.989,30), 2010/2011 (R\$ 1.728,90) e 2015/2016 (R\$ 1.946,20) (Tabelas 5 e 6). Nessas safras agrícolas, a cultura do milho pode ter contribuído para maior receita líquida por hectare, devido ter sido contemplada em todos os sistemas de manejo de solo e em dois sistemas de rotação de culturas (II e III) que, por sua vez, produziu em torno de 7.000 e 8.500 kg.ha⁻¹, respectivamente. Receitas líquidas por hectare negativas, em todos os sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas, foram observadas nas safras agrícolas de 2004/2005 (R\$ -707,30) e 2007/2008 (R\$ -1.698,40) (Tabelas 5 e 6). Na safra agrícola de 2004/2005, houve estiagem generalizada na região, principalmente no mês de fevereiro e, na safra de agrícola de 2007/2008, houve precipitação de granizo, o que prejudicou a cultura de soja, afetando o rendimento de grãos, e conseqüentemente, a receita bruta (SANTOS et al., 2015d).

Na análise anual das subparcelas, observou-se que houve diferenças significativas na receita líquida por hectare dos sistemas de rotação de culturas, em 5 das 18 safras agrícolas avaliadas (Tabela 6). Nas safras agrícolas de 1998/1999 e de 2007/2008 ($p > 0,01$), os sistemas II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo – R\$ 727,30 e R\$ - 1.541,10) e III (trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo e aveia branca/soja – R\$ 866,30 e R\$ -1.456,00) se destacaram em relação ao sistema I (trigo/soja – R\$ -236,90 e R\$ -2.740,40) para receita líquida por hectare ($p > 0,01$), respectivamente. Nestas duas safras agrícolas, a monocultura de trigo (sistema I) produziu menos (857 e 919 kg.ha⁻¹) do que o trigo cultivado no sistema II (1.119 e 1.235 kg.ha⁻¹) e III (1.377 e 1.809 kg.ha⁻¹), respectivamente. Isso pode ter ocorrido porque, nessas safras agrícolas, a rotação de culturas com espécie fixadora de nitrogênio (ervilhaca) contribuiu com um aporte de nitrogênio e aumento da produtividade (MELERO et al., 2013).

Tabela 6. Análise anual e conjunta da subparcelas da receita líquida média, por hectare, de sistemas de rotação de culturas, no ano (inverno + verão) e na média das safras agrícolas, de 1998/1999 a 2015/2016.

Ano	Sistema de rotação de culturas				C.V. (%)	F tratamento
	Sistema I	Sistema II	Sistema III	Média		
	Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)					
1998/1999	-236,90 B	727,30 A	866,30 A	452,20 f	1,0	9,6**
1999/2000	1.879,60	1.663,90	1.994,80	1.846,10 a	0,3	0,9ns
2000/2001	1.531,60 B	1.794,60 B	2.271,70 A	1.865,90 a	0,4	8,4**
2001/2002	531,70	368,80	751,30	550,60 ef	0,6	1,9ns
2002/2003	950,90 A	514,60 B	977,00 A	814,10 df	0,9	4,1*
2003/2004	963,80	400,20	536,80	633,60 df	0,7	1,0ns
2004/2005	-504,70	-879,80	-659,80	-681,40 g	1,1	1,8ns
2005/2006	928,20	290,70	290,80	503,20 f	0,9	1,7ns
2006/2007	2.172,50	835,90	1.365,30	1.457,90 bc	0,6	2,9ns
2007/2008	-2.740,40 B	-1.541,10 A	-1.456,00 A	-1.912,30 h	6,0	8,5**
2008/2009	1.966,50 A	120,00 B	944,10 AB	1.010,20 cd	0,8	3,6*
2009/2010	836,50	234,20	934,70	668,40 df	1,1	1,4 ns
2010/2011	2.204,50	1.236,70	1.898,60	1.779,90 ab	0,7	1,3ns
2011/2012	812,80	387,60	579,00	593,10 ef	1,0	0,4ns
2012/2013	1.631,60	943,30	1.492,90	1.355,90 bc	0,9	2,1ns
2013/2014	2.117,50	360,30	1.254,70	1.244,10 cd	1,0	2,9ns
2014/2015	1.952,60	294,20	1.024,00	1.090,30 cd	0,6	2,3ns
2015/2016	2.918,50	1.132,40	2.164,70	2.071,90 a	1,1	2,4ns
Média	1.106,49 A	493,54 B	957,27 A	827,56	-	67**

Nota: Em que: Sistema I: trigo/soja (monocultura de inverno e de verão); Sistema II: trigo/soja e ervilhaca/sorgo (um inverno sem trigo); e Sistema III: trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja (dois invernos sem trigo). Médias seguidas da mesma letra, minúscula na vertical e maiúscula na horizontal, não apresentam diferenças significativas, a 95 % de probabilidade, pelo teste de Duncan. ns: não significativo; *: nível de significância de 95%; e **: nível de significância de 99%.

Resultados semelhantes, em parte, foram obtidos por Santos et al. (2019), nas médias dos períodos de 1984 a 1989 ou de 1990 a 1993, com sistemas de rotação de culturas para trigo, em que trigo/soja e ervilhaca/milho (sistema II: R\$ 315,97 e R\$ 452,05, respectivamente), tiveram maior retorno econômico por hectare, com intervalo de um inverno sem trigo, em

relação aos demais sistemas estudados (sistema I – trigo/soja: R\$ 219,88 e R\$ 397,63, sistema III – trigo/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja: R\$ 268,77 e R\$ 376,25 e sistema IV – trigo/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e aveia branca/soja: R\$ 269,22 e R\$ 385,15, respectivamente.

Em outro trabalho desenvolvido por Santos et al. (2015b), na média dos anos, de 1990 a 1995, com sistemas de produção com trigo/soja e pastagem de aveia preta/soja, com também um intervalo de um ano, de rotação sem essa gramínea, o sistema II: R\$ 432,71) apresentou receita líquida maior do que os sistemas I – trigo/soja, pastagem de aveia preta/soja e pastagem de aveia preta/soja: R\$ 377,93, III – trigo/soja, pastagem de aveia preta + ervilhaca/soja e pastagem de aveia preta/milho: R\$ 400,27; e IV – trigo/soja, aveia branca/soja e aveia branca/soja: R\$ 322,93). De acordo com esses autores citados acima, ficou demonstrado, em parte, os efeitos positivos da rotação de culturas na utilização das espécies (leguminosas) como cobertura de solo e como adubação verde, em comparação com a monocultura de trigo. Além disso, não foi utilizada adubação nitrogenada de cobertura, em milho, o que tornou os sistemas mais rentáveis.

Contudo, na safra agrícola de 2000/2001 ($p > 0,01$), o sistema III (R\$ 2.271,70) destacou-se para receita líquida, em comparação aos sistemas I (R\$ 1.531,60) e II (R\$ 1.794,60). Nessa safra agrícola, o trigo cultivado, no sistema III ($2.678 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) rendeu mais economicamente por hectare do que nos sistemas I ($2.089 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e II ($2.541 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Na safra agrícola de 2002/2003 ($p > 0,05$), os sistemas de rotação I (R\$ 950,90) e III (R\$ 997,00), mostraram maior receita líquida por hectare do que o sistema II (R\$ 514,60). Nessa safra agrícola, a soja cultivada nos sistemas I (soja após trigo: $2.865 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e III (soja após aveia branca: 2.830 e soja após trigo: $2.940 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) produziu mais do que no sistema II (soja após trigo: $2.690 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Na safra agrícola de 2008/2009 ($p > 0,01$), o sistema I (R\$ 1.966,50) apresentou receita líquida por hectare mais elevada, em relação ao sistema II (R\$ 120,00). Nesta mesma safra agrícola o sistema III (R\$ 944,10) ficou numa posição intermediária para receita líquida por hectare.

Na análise conjunta das subparcelas das safras agrícolas de 1998/1999 a 2015/2016, ocorreram diferenças significativas para receita líquida por hectare em virtude dos sistemas de rotação de culturas (Tabela 6). Os sistemas I (R\$ 1.106,50) e III (R\$ 957,27) apresentaram receita líquida superior ao sistema II (R\$ 493,54). A maior receita líquida por hectare constatada nos sistemas I e III, pode ser explicada, em parte, pela maior receita bruta da cultura da soja, devido ao seu preço de venda que, na ocasião do levantamento de preço, estava em torno de R\$ 70,80/saco (novembro de 2016). Nessa mesma ocasião, o preço de venda do sorgo foi em torno de R\$ 19,80, o que diminuiu, em parte, a receita bruta dos sistemas II e III. Conforme observado nas Tabelas 1 e 3, a soja consta em todos os sistemas de rotação estudados e produziu de forma satisfatória, o que manteve a receita líquida por hectare estabilizada, no verão. No trabalho conduzido por González et al. (2013), durante 16 anos, em Chillán, no Chile, em quatro sistemas de rotação de culturas (sistema I: beterraba, trigo, trevo vermelho e trevo vermelho; sistema II: beterraba, trigo, feijão e cevada; sistema III: milho, trigo, trevo vermelho e trevo vermelho; e sistema IV: milho para silagem, trigo, feijão e cevada), observaram que a sequência e o longo prazo determinaram, significativamente, o desempenho econômico. Assim, nesse trabalho, os autores destacaram a eficiência econômica dos sistemas II e IV, principalmente pela utilização das culturas de cevada, feijão e trigo.

Assim, a diversificação de culturas de inverno e de verão não se resume apenas em necessidade agrônômica, mas sobretudo, em necessidade social, econômica e ambiental, que é imprescindível para o desenvolvimento dos pequenos e médios agricultores. Por outro lado, a

monocultura de inverno (junho a outubro) ou de verão (setembro a maio) pode implicar elevado risco para a produção e renda da propriedade.

Conclusões

O sistema plantio direto (R\$ 1.098,60) mostrou-se, por meio da receita líquida, na média de dezoito safras agrícolas, mais rentável por hectare, em relação aos demais manejos de solo (cultivo mínimo – R\$ 889,70; preparo convencional de solo com arado de discos – R\$ 663,60; e preparo convencional de solo com arado de aivecas – R\$ 658,40). Contudo, o cultivo mínimo (R\$ 889,70) localizou-se em uma posição intermediária para a receita líquida por hectare.

Em três safras agrícolas, a rotação de culturas com intervalo de dois anos foi mais eficiente economicamente por hectare do que a monocultura trigo/soja.

Referências

CONAB. **Levantamento dos custos de produção de aveia branca, milho, soja sorgo e trigo**. Brasília, DF, 2018. Sem paginação. Disponível em: Brasília, DF, 2018. sem paginação. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/precos-minimos/precos-minimos-dashboard>>. Acesso em: 4 nov. 2016.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 129, n. 1, p. 40-47, 2013. [https://doi: 10.1016/j.still.2013.01.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.01.006)

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; GIOIA, M.T.; TARSITANO, M.A.A.; PARIZ, C.M.; BUZETTI, S. Análises técnicas e econômicas no sistema de integração lavoura-pecuária submetidas à adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.5, p.597-605, 2012. <<http://www.redalyc.org/html/3052/305226811004>>.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. dos B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015. <[https://doi: 10.1590/01000683rbc20140269](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269)>

DENARDIN, J.E. Alternativas para aumento da produtividade da lavoura de grãos no Rio Grande do Sul. In: **Alternativas para ampliação da produtividade e da qualidade da produção agropecuária do Rio Grande do Sul: leite e grãos**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2018. p. 65-92. (Futuro RS: agenda de desenvolvimento. Cadernos para o futuro, 4)

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

MELERO, M.M. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n.4, p. 343-353, 2013. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat

MULLER, J.; LEVIEN, R.; MAZURANA, M.; ALBA, D.; CONTE, O.; ZULPO, L. Energy balance in crop-farming system under soil management and cover crops. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.3, p.348-353, 2017. DOI:10.5039/agraria.v12i3a5463.

SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S. Aspectos fitopatológicos, técnicos e econômicos na elevação do rendimento de grãos de trigo em plantio direto no Brasil. In: PIRES, J.L.M.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. **Trigo no Brasil: Bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 8, p.217-238.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; SANTI, A.; DALMAGO, G. A. Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; SPERA, S. T.; DALMAGO, G. A.; PIRES, J. L. F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 8, p. 256-307.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T. Avaliação de sistemas de rotação de culturas no rendimento de grãos de culturas de verão, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; PIRES, J.L.F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: 30 anos de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015a. Cap. 4, p.87-144.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T. Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; PIRES, J.L.F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: 30 anos de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015b. Cap. 8, p.263-314.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; CASTRO, R. L. de; VERDI, A. C.; VARGAS, A. M.; BIAZUS, V. Avaliação de trigo para grãos e duplo propósito, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 1, p. 43-48, 2015c. <<https://doi:10.5039/agraria.v10i1a4567>>

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SILVA, S. R.; SANTI, A.; VERDI, A. C.; VARGAS, A. M. Long-term effects of four tillage systems and weather conditions on soybean yield and agronomic characteristics in Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 5, p. 445-452. ISSN: 1835-2707, 2015d.

SANTOS, H. P.; SPERA, S. T.; FONTANELI, R. S.; LOCATELLI, M.; SANTI, A. Alterações edáficas decorrentes de diferentes manejos de solo e rotação de culturas em Latossolo sob condições subtropicais. **Nativa**, Sinop, v.3, n. 4, p.233-240, 2015e. <<https://doi:10.14583/2318-7670.v03n04a02>>.

SAS Institute. **SAS system for Microsoft Windows: Version 9.4**. Cary: SAS Institute, 2017.

TOWNSEND, T.J.; RAMSDEN, S.J.; WILSON, P. Analysing reduced tillage practices within a bio-economic modelling. **Agricultural Systems**, Essex, v. 146, n. 1, p. 91-102, 2016a. <<https://doi:10.1016/j.agsy.2016.04.005>>

TOWNSEND, T.J.; RAMSDEN, S.J.; WILSON, P. How do we cultivate in England? Tillage practices in crop production. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 106-117, 2016b. <<http://doi:10.1111/sum.12241>>

WEILER, D.A.; TORNQUIST, C. G.; PARTON, W.; SANTOS, H. P DOS; SANTI, A.; BAYER, C. Crop biomass, soil carbon, and nitrous oxide as affected by management and climate: a day center applicati0n in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 945-955, 2017. <<https://doi: 10.2136/sssaj2017.01.0024>>