



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos e químicos do solo e na produtividade da soja

Priscylla Ferraz Câmara Monteiro¹, Andréia Patricia Andrade², Rogério Ferreira Aires³, Marcelo de Carli Toigo⁴

Resumo - O plantio direto abrange grandes áreas cultivadas no Brasil, sendo considerado adequado para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas sobre os atributos físicos e químicos do solo, como também sobre a produtividade da soja. O experimento foi conduzido por quatro anos (2014-2017) na área experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) / Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), Vacaria, RS. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos consistiram em: plantio direto com sucessão de culturas (PDs), plantio direto com rotação de culturas (PDr), escarificado com rotação de culturas (Er) e preparo convencional com rotação de culturas (PCr). Foram avaliadas características químicas (MO, P, K e pH) e físicas (densidade, macroporosidade e microporosidade) do solo e a produtividade da cultura da soja. Após quatro anos de condução do experimento, os atributos químicos do solo não sofreram modificações pelos manejos adotados, porém houve um aumento dos teores de matéria orgânica em todos os tratamentos avaliados. Para as variáveis físicas macro e microporosidade do solo não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas a densidade do solo mostrou-se sensível para a mudança no preparo do solo. A produtividade não apresentou diferença entre os tratamentos. Os resultados preliminares mostram que a curto prazo não há necessidade de manejar o solo a cada três anos em áreas que utilizam a técnica do plantio direto.

Palavras-chave: Plantio direto. Grade aradora. Sistema agrícola. Culturas anuais.

Effects of soil tillage and crop rotation systems on soil physical and chemical attributes and crop yield

Abstract - No-tillage covers large cultivated areas in Brazil, being considered suitable for the sustainability of Brazilian agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the effects of soil management and crop rotation systems on soil physical and chemical attributes as well as soybean yield. The experiment was carried out for four consecutive years (2014-2017) at Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) / Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), in Vacaria, Rio Grande do Sul State, Brazil. The treatments were: no-tillage with crop rotation (PDr), no-tillage with crop succession (PDs), scarified with crop rotation (Er) and conventional tillage with crop rotation (PCr). Soil physical (density, macroporosity and microporosity) and chemical (organic matter, P, K and pH) properties were evaluated as well as soybean crop yield. The soil physical attributes did not modify by the different soil management but the soil organic matter content increased in all evaluated treatments. There was no significant difference between the treatments for macro and microporosity of the soil but the soil density was sensitive for the soil management. The soybean yield did not differ significantly among the treatments. The preliminary results evidenced in short term is no need to mobilize the soil every three years in the areas operated under no tillage systems.

Key-words: No-tillage. Harrow disc. Agricultural system. Annual crops.

¹ Eng.Agr., Pesquisadora Doutora em Irrigação e Drenagem, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA)/Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), Centro de Pesquisa da Região Nordeste, BR 285 – Km 05, C.P.20, Vacaria – RS. priscylla-monteiro@agricultura.rs.gov.br

² Eng. Agr., Doutora em Ciência do Solo, BR 282 – Km 0, Lages – SC.: andreiapatricia74@yahoo.com.br

³ Eng.Agr., Pesquisador Doutor em Fisiologia Vegetal, DDPA/SEAPDR, Vacaria/RS. rogerio-aires@agricultura.rs.gov.br

⁴ Eng.Agr., Pesquisador Mestre em Melhoramento Vegetal, DDPA/SEAPDR, Vacaria/RS. marcelo-toigo@agricultura.rs.gov.br



Introdução

A prática do plantio direto, atualmente muito eficiente em sistemas de cultivo do solo, abrange grandes áreas cultivadas no Brasil, e é considerado o sistema mais adequado para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros (CRUSCIOL et al., 2010; NASCENTE et al., 2013). A adição de resíduos culturais através do sistema plantio direto resulta em maior estoque de carbono no solo, como alternativa de sequestro de carbono atmosférico e diminuição dos efeitos das mudanças climáticas (KRAGT et al., 2012). No entanto, em solos de textura argilosa, a pouca movimentação do solo pelo plantio direto pode causar compactação do solo quando manejada sob monocultivo e baixa adição de resíduos (SILVA et al., 2009; FRANCHINI et al., 2012; MORAES, 2013).

A matéria orgânica do solo (MOS) é utilizada como um dos principais indicadores de qualidade do solo (FONTANA et al., 2011; CAETANO et al., 2013), pois é sensível às práticas de manejo, como uso do sistema plantio direto (GAZOLLA et al., 2015; SÁ et al., 2015). Esse atributo do solo pode ser utilizado no monitoramento das mudanças ocorridas em função dos sistemas de preparo e cultivo, que interferem na adição de material orgânico, nas perdas por erosão hídrica e na decomposição microbiana (BRADY; WEILL, 2013).

Atributos físicos do solo como densidade do solo, resistência à penetração e macroporosidade são utilizados para avaliar o grau de compactação do solo. A compactação do solo pode causar degradação da qualidade física do solo, afetar o desenvolvimento radicular, bem como a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes (SILVEIRA NETO et al., 2006). Segundo Tormena et al. (1998), os valores de densidade crítica são variáveis de acordo com as características do solo, e há uma relação linear inversa entre a densidade crítica do solo e o teor de argila (REICHERT et al., 2009).

Para diminuir os problemas de compactação do solo em sistema de plantio direto busca-se alternativas como a rotação de culturas, que contemplem culturas com elevada produção de biomassa e com sistemas radiculares abundantes, profundos e agressivos (SILVEIRA NETO et al., 2006). Contudo os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo são mais perceptíveis em sistemas de cultivo de longa duração (FRANCHINI et al., 2012). Nicoloso et al. (2008) observaram que o consórcio entre nabo forrageiro + aveia preta foi eficiente para descompactação biológica do solo, para o aumento da macroporosidade e da infiltração de água no solo.

A escarificação mecânica do solo pode proporcionar ambiente favorável ao desenvolvimento radicular das culturas, elevar a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água no solo (CASTRO et al., 2010), reduzindo a densidade (REICHERT et al., 2009). Entretanto, a escarificação tem efeito de curta duração na melhoria da compactação do solo (GIRARDELLO et al., 2011), e neste sentido os benefícios da escarificação



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

do solo sobre o rendimento de culturas nem sempre se concretizam (GUBIANI et al., 2013; NUNES et al., 2015).

Neste sentido o uso de práticas mecânicas como a escarificação associada às práticas relacionadas ao cultivo do solo podem diminuir a compactação do solo e proporcionar ambiente favorável ao desenvolvimento das culturas. Além do que a manutenção de resíduos culturais ou cobertura verde sobre o solo entre cultivos comerciais é essencial para proteção da camada superficial do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo e de rotação de culturas sobre os atributos físicos e químicos do solo, como também sobre a produtividade da soja em um Latossolo.

Material e Métodos

A área experimental está localizada no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Centro de Pesquisa da Região Nordeste, no município de Vacaria – RS (28° 26' 47" S e 50° 56' 26" W), com altitude de aproximadamente 905 m (Fig. 1).

O experimento foi instalado em 2014 como um sistema de cultivo de longa duração, ou seja, com o intuito de ser conduzido por pelo menos 20 anos. A condução do experimento está entrando no seu quinto ano, mas os resultados obtidos e analisados são referentes aos anos de 2014 a 2017.

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo mesotérmico Cfb, ou seja, clima subtropical úmido de verões amenos, inverno rigoroso com ocorrência de geadas, e precipitação pluviométrica média mensal variando de 101 a 174 mm (PEREIRA et al., 2009), temperatura média do ar no mês mais quente inferior a 22 °C, umidade relativa do ar média de 80 % e velocidade do vento média de 2,5 m s⁻¹.

O solo da área experimental foi classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos desenvolvido pela Embrapa (2013), como Latossolo Bruno distrófico típico, sendo descrito como solos profundos, bem drenados, com altos teores de argila, acentuada acidez e baixa reserva de nutrientes para as plantas.

Esta área experimental foi cultivada por muitos anos com gramíneas para pastagem. Antes da instalação do experimento Mais Água / Grãos PD foram realizadas amostragens de solo (0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m) para determinação das suas características químicas e físicas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e seis repetições, totalizando 24 parcelas experimentais (Figura 2).



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

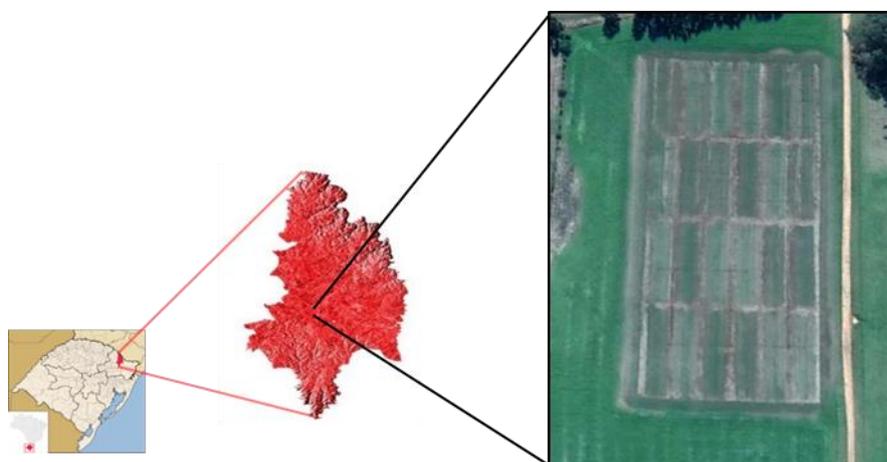


Figura 1. Localização do experimento Mais Água/GrãosPD no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária - DDPA/SEAPDR, Centro de Pesquisa da Região Nordeste, Vacaria, RS. Data da Imagem: 12/08/2018, Google Earth.

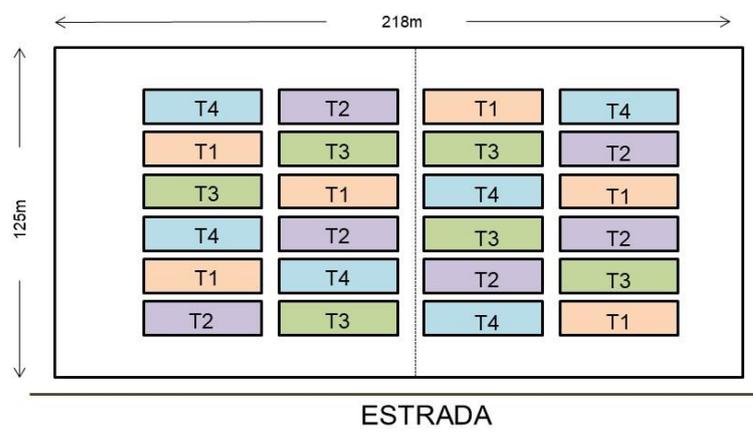


Figura 2. Croqui da área experimental: T1 – plantio direto com sucessão trigo-soja (**PDs**); T2 – plantio direto com rotação de culturas (**PD_r**); T3 – escarificação com rotação de culturas (**Er**); T4 – plantio convencional com rotação de culturas (**PC_r**) – Vacaria, RS, 2014.

Os tratamentos consistem em: plantio direto com sucessão de culturas (PDs), plantio direto com rotação de culturas (PD_r), escarificado com rotação de culturas (Er) e preparo convencional com rotação de culturas (PC_r). O sistema plantio direto foi realizado sem nenhum revolvimento do solo; o preparo convencional



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

consistiu em uma aração, a 0,15 m de profundidade, e uma gradagem com grade niveladora para destorroamento a profundidade de 0,12 m; e o preparo escarificado foi realizado com hastes metálicas a profundidade de 0,30 m, com espaçamento 0,50 m entre as hastes e destorroamento do solo com grade niveladora. No sistema de cultivo sucessão são utilizadas apenas duas culturas, sendo a cultura da soja (*Glycine max* L. Merr.) no verão e do trigo (*Triticum aestivum* L.) no inverno e, no sistema rotação são utilizadas as culturas da soja (*Glycine max* L. Merr.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) no verão e, trigo (*Triticum aestivum* L.), aveia preta (*Avena strigosa* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.) no inverno. Vale ressaltar que o ciclo de rotação de culturas se repete a cada 3 anos (Tabela 1). Portanto, o segundo ciclo de rotação de culturas teve início em dezembro de 2017. Cada parcela experimental possui uma área de 700 m² (14 x 50 m), e uma área útil de, aproximadamente, 150 m², sendo 3,2 m de largura e 50 m de comprimento.

O solo da área experimental, anteriormente cultivado com gramínea, foi preparado mediante dessecação de toda a área. Após vinte dias da dessecação foi realizado o manejo do solo para os diferentes tratamentos (preparo convencional e escarificação), com exceção ao plantio direto onde não houve revolvimento do solo. A escarificação é realizada a cada três anos e o preparo convencional é realizado anualmente no período primavera-verão antecedendo a semeadura de verão.

A semeadura das culturas de verão foi realizada mecanicamente em 11/11/2014, 08/12/2015, 07/12/2016 e 29/11/2017, sendo que nos anos de 2014 e 2017 todas as parcelas foram semeadas com a cultura da soja e nos anos de 2015 e 2016 apenas as parcelas contendo o tratamento sucessão trigo-soja (T1). As demais parcelas foram semeadas com as culturas do feijão em 2015 e do milho em 2016 (Tabela 1). O espaçamento e densidade de semeadura utilizados para as culturas da soja e feijão foram de 0,50 m entrelinhas e 14 sementes por metro linear. Já para a cultura do milho utilizou o espaçamento de 0,50 m entrelinhas e 3,25 sementes por metro linear.

A semeadura das culturas de inverno, trigo, aveia e ervilhaca, foram realizadas mecanicamente em 31/07/2015, 06/07/2016 e 06/07/2017. A semeadura das culturas de aveia e ervilhaca tiveram como finalidade realizar a cobertura do solo, e por isso não foram realizadas análises destas culturas. O espaçamento e densidade de semeadura utilizados para estas culturas foi de 0,17 m entrelinhas e 60 sementes por metro linear. Esta densidade atende a recomendação oficial que varia de 300 a 330 plantas/m².

A adubação para as culturas das safras de verão e inverno foram realizadas de acordo com manual de recomendação de adubação e calagem (CQFS/RS, 2016). Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações para cada cultura. Durante o período de condução do experimento foi possível avaliar parâmetros de planta e atributos químicos e físicos do solo. A produtividade da cultura da soja foi determinada em áreas de 150 m².



Tabela 1. Tratamentos e sistemas de sucessão e rotação de culturas utilizados nos diferentes sistemas de manejo do solo, durante quatro anos consecutivos, no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Vacaria, RS, nos anos de 2014 a 2017.

Tratamento	2014/15	2015	2015/16	2016	2016/17	2017	2017/18
T1	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja	Trigo	Soja
T2	Soja	Trigo	Feijão	Av + Erv	Milho	Aveia	Soja
T3	Soja	Trigo	Feijão	Av + Erv	Milho	Aveia	Soja
T4	Soja	Trigo	Feijão	Av + Erv	Milho	Aveia	Soja

*T1: plantio direto sucessão; T2: plantio direto rotação; T3: escarificação + rotação; T4: convencional + rotação.

Foram avaliadas características químicas e físicas do solo. A matéria orgânica, os teores de P, K e pH em água, foram determinadas de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995). As análises físicas realizadas foram: densidade, macroporosidade e microporosidade do solo, para as camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m de profundidade, em novembro de cada ano, antes do plantio da cultura de verão. A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico. A porosidade total foi determinada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas, e a macroporosidade pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (EMBRAPA, 2011).

Os efeitos dos sistemas de manejo do solo e rotação de culturas sobre os atributos físicos e químicos do solo, em cada profundidade, e sobre a produtividade foram submetidos à análise de variância conjunta, envolvendo os resultados obtidos durante quatro anos de condução do experimento. Nesta análise empregou-se o programa *Statistical Analysis System – SAS 9.2* (SAS 1989), sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

A caracterização química do solo (Tabela 2) mostra a homogeneidade na área em que foi implantado o experimento. Não houve efeito significativo entre os tratamentos nas profundidades avaliadas, porém houve variação em profundidade. Esses dados possibilitam avaliar as modificações futuras no solo mediante os manejos adotados.

Observa-se que o solo, em sua condição inicial de implantação do experimento, apresentou um gradiente na concentração de P, K e MO em profundidade. Estes dados podem ser atribuídos ao manejo do solo em períodos anteriores à implantação do experimento, pois o mesmo era usado com pastagem perene, sem revolvimento do solo, e a aplicação de insumos era realizada superficialmente. Os valores de pH são



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

homogêneos entre os tratamentos e também em profundidade, isso condiz com a prática de calagem realizada anteriormente a implantação da pastagem com correção da acidez em profundidade de até 0,30 m.

Tabela 2. Atributos químicos do solo em quatro profundidades, antes da instalação do experimento, em função dos diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), na área experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Vacaria, RS, 2014.

Tratamento	Profundidades (m)			
	0 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40
----- Fósforo (P) mg dcm ⁻³ -----				
PDs	9,3 ^{ns}	12,5	5,1	3,5
PDr	8,5 a	6,8 ab	4,8 ab	3,8 b
PCr	8,8 a	7,9 ab	6,2 ab	3,2 b
Er	8,2 ^{ns}	5,1	4,3	3,8
----- Potássio (K) mg dcm ⁻³ -----				
PDs	79,3 a	41,6 b	25,6 b	17,3 b
PDr	67,3 a	40,6 b	24,0 bc	18,0 c
PCr	74,0 a	43,0 b	27,0 bc	22,3 c
Er	95,3 a	59,0 ab	26,0 b	21,0 b
-----Matéria orgânica (%) -----				
PDs	5,9 a	4,6 ab	4,2 b	3,4 b
PDr	5,0 ^{ns}	4,4	4,3	3,4
PCr	5,9 a	4,8 ab	4,8 ab	3,5 b
Er	6,2 ^{ns}	5,4	3,4	3,3
----- pH água -----				
PDs	5,6 ^{ns}	6,0	6,1	6,0
PDr	5,5 ^{ns}	5,9	5,9	5,2
PCr	5,6 ^{ns}	5,8	6,1	5,6
Er	5,3 ^{ns}	5,6	5,7	5,3

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para os atributos físicos também não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3), no entanto houve diferença nos atributos físicos em profundidade. A densidade do solo foi maior nas camadas superiores (0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 m), e menor na camada de 0,20 – 0,40 m. A macroporosidade foi maior na camada superficial, o que pode ser explicado pela presença das raízes fasciculadas das gramíneas cultivadas



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

anteriormente, que pelo volume e quantidade favorecem a formação de canais maiores que alteram a macroporosidade. A microporosidade não teve influência da profundidade.

Tabela 3. Atributos físicos do solo, em quatro profundidades, antes da implantação do experimento no Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Vacaria, RS, 2014.

Profundidade (m)	Ds (g cm ⁻³)	Macroporosidade (cm ³ cm ⁻³)	Microporosidade (cm ³ cm ⁻³)
0 – 0,05	1,11 ab	0,20 a	0,36 ^{ns}
0,05 – 0,10	1,18 a	0,15 b	0,37
0,10 – 0,20	1,11 ab	0,16 b	0,37
0,20 – 0,40	1,08 b	0,15 b	0,37

Após quatro anos de condução do experimento, os atributos químicos do solo que mais sofreram alteração em função dos manejos adotados foram: matéria orgânica (MO), pH e fósforo (P) (Tabela 4).

Tabela 4. Média geral dos atributos químicos do solo, matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P) e potássio (K), na camada de 0 - 0,05 m, em função dos diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), na área experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Vacaria, RS, 2017.

Tratamento	MO	pH	P	K
PDr	4,42 a	6,22 ab	3,82 a	54,08 a
Er	4,31 ab	6,22 ab	3,22 ab	46,19 a
PCr	4,21 ab	6,12 b	3,03 b	46,19 a
PDs	4,16 b	6,36 a	3,55 ab	44,42 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os teores de matéria orgânica aumentaram após quatro anos de cultivo em todos os tratamentos avaliados (Figura 3), na camada de 0-0,05 m. O tratamento PDr apresentou os maiores teores em relação aos demais (Tabela 4) e teve um aumento de 24% nos teores de MO ao longo dos três anos de condução do experimento. O tratamento que teve menor evolução no aumento dos teores de MOS do solo foi PDs com 9% de acréscimo nos teores de MOS (Figura 3). Portugal et al. (2008) também observaram aumento nos teores de



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

MOS em sistema de semeadura direta e afirmam que sistemas mais conservacionistas tendem a incrementar a matéria orgânica do solo na superfície ao longo do tempo. As diferenças observadas nos teores de matéria orgânica do solo nos primeiros anos de condução do experimento se devem à entrada e saída de carbono no sistema de cultivo, o que é influenciada pelo preparo do solo, espécies utilizadas e rotação de culturas (COSER et al., 2016; CAMPOS et al., 2011).

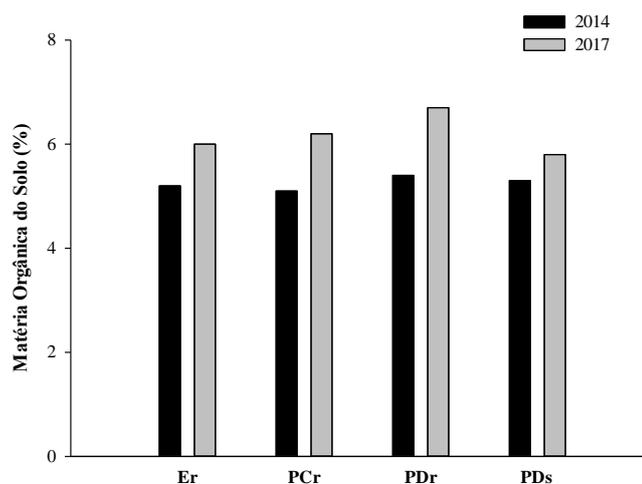


Figura 3. Valores médios de matéria orgânica (%) do solo, na profundidade de 0 - 0,05 m, para os diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), em um Latossolo, Vacaria, RS.

Houve uma diminuição da densidade do solo para todos os tratamentos (Figura 4), esse resultado é explicado pela mudança no uso do solo, passando de cultivo de pastagem para cultivo agrícola. A diminuição na densidade foi mais evidente na camada de 0-0,05 m, não sendo expressiva nas demais camadas estudadas. No plantio direto, mesmo não havendo revolvimento do solo teve a presença de raízes que ocupam volume de solo diferenciado entre os diferentes cultivos e proporcionaram a diminuição da densidade do solo após três anos de cultivo. A presença de raízes com morfologia diferentes entre si pode alterar a estrutura do solo e consequentemente o arranjo e volume de poros. Segundo Tormena et. al. (1998) essas propriedades do solo influem na retenção e disponibilidade de água para as plantas.

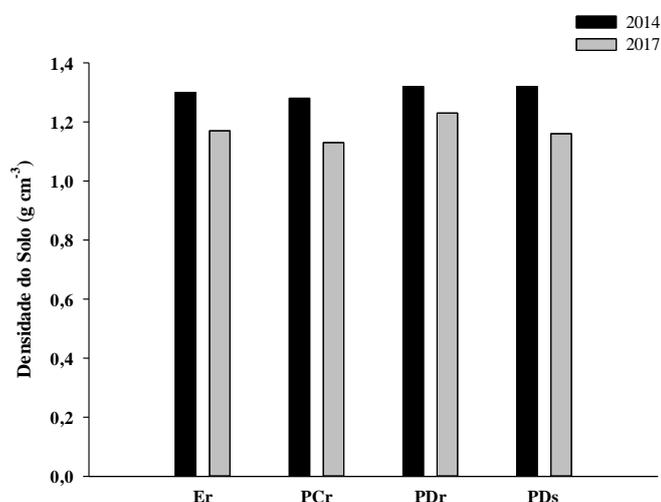


Figura 4. Valores médios de densidade do solo, na profundidade de 0 – 0,05 m, para os diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), em um Latossolo, Vacaria, RS.

O tratamento PCr teve o menor valor de densidade entre todos os tratamentos (Tabela 5), evidenciando o efeito do revolvimento do solo provocado pelas operações de preparo do solo. Apesar disso, os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente. A densidade do solo mostrou-se mais sensível para a mudança no preparo do solo, do que a porosidade, pois antes da implantação do experimento a Ds foi praticamente homogênea em toda a área. A Ds não limita o desenvolvimento da planta de forma direta, porém afeta processos que exercem influência direta no crescimento, como a absorção de nutrientes e água (DIAS, 2014).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos (Er, PCr, PDr, PDs) para as variáveis físicas macro e microporosidade do solo (Tabela 5). Porém, comparando as médias de 2014 e 2017, na camada de 0-0,05 m, observa-se um aumento na macroporosidade para os tratamentos Er, PCr e PDs (Figura 5). Nestes mesmos tratamentos, as alterações na macroporosidade foram mais notáveis, havendo um aumento. Isso mostra uma relação direta entre essas variáveis, sendo a diminuição da Ds dependente do aumento da macroporosidade. Os valores de macroporosidade (2017) se mostram adequados para o bom desenvolvimento das raízes e fluxos de ar e água no solo, permanecendo acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado limite crítico (Reichert et al., 2003). O tratamento PDr está no limite crítico para a macroporosidade. Esse resultado mostra a necessidade de monitoramento das alterações na física do solo ao longo da condução do experimento. A microporosidade não apresentou diferenças importantes entre os tratamentos, mostrando-se menos sensível as modificações no sistema provocadas pelos manejos (Figura 5B). Loss et al. (2017) após 20 anos de condução de experimento



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

com preparo convencional e plantio direto em cebola, não observou nenhuma diferença entre os tratamentos para a microporosidade.

Tabela 5. Média geral dos atributos físicos do solo, densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (Ptotal), na camada de 0 - 0,05 m, em função dos diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (Er), preparo convencional com rotação de culturas (PCr), plantio direto com rotação de culturas (PDr) e plantio direto com sucessão de culturas (PDs), na área experimental do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPDR), Vacaria, RS, 2017.

Tratamento	Ds	Macro	Micro	Ptotal
PCr	1,2821 a	0,1092 a	0,4393 a	0,5484 a
Er	1,2989 a	0,1059 a	0,4389 a	0,5448 a
PDr	1,3032 a	0,0992 a	0,4440 a	0,5433 a
PDs	1,3186 a	0,1046 a	0,4316 a	0,5362 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

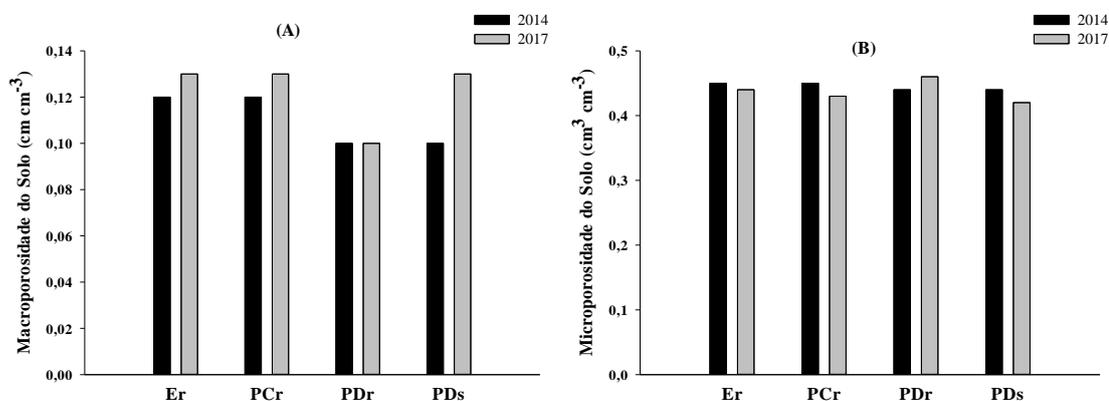


Figura 5. Valores médios da macroporosidade (A) e da microporosidade do solo (B), na profundidade de 0 – 0,05 m, para os diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (Er), preparo convencional com rotação de culturas (PCr), plantio direto com rotação de culturas (PDr) e plantio direto com sucessão de culturas (PDs), em um Latossolo, Vacaria, RS.

A produtividade da soja avaliada após quatro anos de implantação do experimento, pensar de não apresentar diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6), mostrou que o tratamento Er teve a maior produtividade em relação aos demais (Figura 6). Este resultado pode estar relacionado com a baixa densidade



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

do solo observada neste tratamento, condições que favorecem o desenvolvimento das raízes e obtenção de água, nutrientes e aeração do solo. Santos et al. (2014) em estudo que avaliou o rendimento de soja em diferentes manejos do solo, concluíram que o rendimento de soja foi maior no sistema de rotação que inclui soja/trigo/milho, do que no sistema sucessão soja/trigo, o qual teve o menor rendimento.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para a produtividade da soja (Kg ha^{-1}) em função dos diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), Vacaria, RS.

Tratamento	Produtividade	
	2014	2017
PDr	2816,32 ^{ns}	2617,96 ^{ns}
Er	2917,52 ^{ns}	2641,78 ^{ns}
PCr	2726,12 ^{ns}	2452,00 ^{ns}
PDs	2895,96 ^{ns}	2575,52 ^{ns}

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

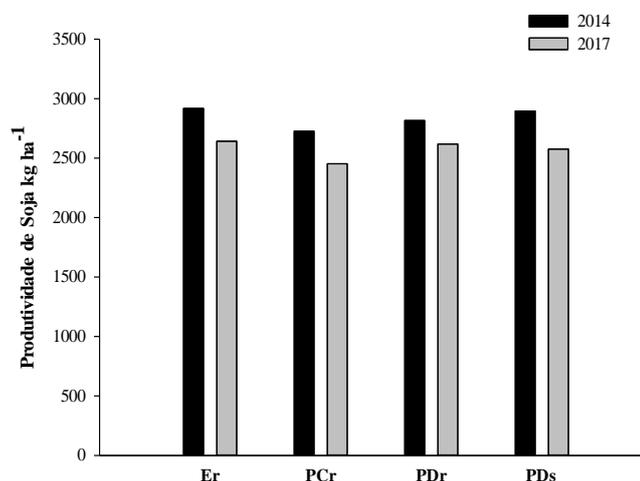


Figura 6. Valores médios de produtividade da soja (kg ha^{-1}), nos anos agrícolas de 2014 e 2017, para os diferentes tratamentos: escarificação com rotação de culturas (**Er**), preparo convencional com rotação de culturas (**PCr**), plantio direto com rotação de culturas (**PDr**) e plantio direto com sucessão de culturas (**PDs**), em um Latossolo, Vacaria, RS.



Considerações finais

Com base na análise dos diferentes parâmetros avaliados e nos critérios estatísticos adotados, concluiu-se que para os dados físicos, químicos e de rendimento de grãos não houve diferença significativa entre os tratamentos. Esta constatação mostra-se importante para a continuidade do experimento, uma vez que, sendo o solo um sistema aberto sofre grande influência de vários fatores e suas modificações são observadas em experimentos de longa duração.

A manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo e a redução do seu revolvimento são apontados como meios para aumentar a disponibilidade de água no solo, diminuir a compactação do solo e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas. Além da ausência de revolvimento do solo, a adoção de sistemas de rotação de culturas com boa formação de fitomassa é importante para a preservação da matéria orgânica no solo. Os sistemas de produção que resultam no aumento dos teores de matéria orgânica no solo têm sido apontados como mais sustentáveis. Diante do exposto acima e por se tratar de um experimento de longa duração espera-se que o sistema de manejo do solo e rotação de culturas adotados neste experimento apresente ao longo do tempo uma melhora nos atributos físicos e químicos do solo resultando em uma maior produtividade.

Agradecimentos

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro ao Projeto Mais Água; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de desenvolvimento tecnológico e industrial (DTI-B) concedida ao segundo autor; e aos funcionários do Centro de Pesquisa da Região Nordeste (DDPA/SEAPDR), Vacaria-RS, cuja ajuda e apoio foram essenciais para a realização desse trabalho.

Referências

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: Bookmann Editora LTDA, 2013.

CAETANO, J. O. et al. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1245-55, 2013.

CAMPOS, B.C. et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; SIQUEIRA, G. M. Atributos físico-hídricos de um Latossolos Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de manejo. *Bragantia*, Campinas, v.69, n. 2, p. 433-443, 2010.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. CQFS. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

COSER, T.R. et al. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n.9, p. 1660-1667, 2016.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. *Better Crops*, Atlanta, v. 94, n. 2, p. 14-16, 2010.

DIAS, P.P. Variáveis Fenométricas e Rendimento de Grãos do Crambe Associado a Níveis de Compactação de um Latossolo Argiloso. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Janeiro de 2014. Dissertação de Mestrado.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. rev. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. ampl. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 33, p. 545-550, 2011.

FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. *Field Crop Research*, Amsterdam, v. 137, p. 178-185, 2012.

GAZOLLA, P. R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, p. 693-704, 2015.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HORBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n.6, p. 2115-2126, 2011.

GUBIANI, P.I. et al. Crescimento e produção de milho associados com o intervalo hídrico ótimo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1502-1511, 2013.

KRAGT, M. E. et al. Assessing costs of soil carbon sequestration by crop-livestock farmers in Western Australia. *Agriculture Systems*, v.112, p.27- 37, 2012.

LOSS, A. et al. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistema de plantio direto e reparo convencional. *Revista Colombiana de Ciências Hortícolas*, v. 11, p. 105-113, 2017.

MORAES, M. T. Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas. Santa Maria: UFSM, 2013. 205 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUC-CI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yields. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v. 45, p. 124-131, 2013.

NICOLOSO, R. S. et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

NUNES, M.R. et al. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. *Geoderma*, v.259-260, p.149-155, 2015.

PEREIRA, T. P.; FONTANA, D. C.; BERGAMASCHI, H. O Clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v.15,n.2, p.145-157, 2009.



doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253179-194>

PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.091-2100, 2008.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Research*, v. 102, p.242-254, 2009.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ci. Amb.*, 28:29-48, 2003.

SÁ, J. C. M. et al. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agroecoregions in Brazil. *Land Degradation and Development*, v. 26, p. 531-543, 2015.

SANTOS, H. P. et al. Rendimentos de grãos e características agronômicas de soja em função de sistemas de rotação de culturas. *Bragantia, Campinas*, v. 73, p. 263-73, 2014.