

Compactação do solo em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto

Soil compaction in a livestock crop integration system under no-tillage

Cristian Jacob Tassi¹
Mastrângello Enívar Lanza²
Eduardo Lorensi de Souza²
Danni Maisa da Silva²
Marciel Redin²
Maiara Figueiredo Ramires³

Resumo A integração lavoura-pecuária (ILP) é uma alternativa viável, pois é um sistema que otimiza o uso do solo com a produção de grãos em uma mesma área que posteriormente será utilizada para a produção animal. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do pisoteio animal sobre a produtividade da cultura do milho e algumas propriedades físicas do solo em sistema de ILP na região noroeste do Rio Grande do Sul. Os tratamentos avaliados foram: semeadura direta sem pastejo, semeadura direta com pastejo, subsolagem com pastejo e subsolagem sem pastejo. Para se determinar o grau de compactação nos diferentes tratamentos foram realizadas avaliações de Resistência do solo à Penetração (RP), Densidade do Solo (DS) e Porosidade Total do Solo (PT), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As espécies forrageiras utilizadas foram trigo duplo propósito e aveia preta, ambos em cultivo solteiro. O cultivo do milho foi realizado em subsequência. Os resultados encontrados foram mais pronunciados em relação ao manejo do solo através da subsolagem do que em relação ao pisoteio animal. Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados nas forrageiras cultivadas, em relação ao efeito do pisoteio bovino na compactação do solo. Os efeitos da compactação do solo pelo pisoteio bovino foram detectáveis através das avaliações físicas realizadas (DS, RP e PT) não sendo prejudiciais para a produção da cultura do milho cultivado em sequência às culturas de inverno (aveia preta e trigo duplo propósito).

Palavras-chave: Resistência à penetração. Pisoteio animal. Subsolagem. Pastejo.

¹ Engenheiro Agrônomo. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, cristiantassi17@hotmail.com

² Prof. Adjunto. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, mastrangelo-lanza@uergs.edu.com.br

² Prof. Adjunto. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, eduardo-souza@uergs.edu.com.br

² Prof. Adjunto. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, danni-silva@uergs.edu.com.br

² Prof. Adjunto. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, marciel-redin@uergs.edu.com.br

³ Doutora, Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, maiara.solos@gmail.com

Abstract: Crop-livestock integration (CLI) is a viable alternative, as it is a system that optimizes land use with grain production in the same area that will later be used for animal production. The present work aimed to evaluate the effect of animal trampling on maize crop yield and some soil physical properties in an ILP system in the northwest region of Rio Grande do Sul. The evaluated treatments were no-tillage without grazing, no-tillage with grazing, subsoiling with grazing and subsoiling without grazing. In order to determine the degree of compaction in the different treatments, evaluations of Soil Penetration Resistance (PR), Soil Density (SD) and Total Porosity (TP) were carried out at depths of 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm. The forage species used were dual-purpose wheat and black oats, both in single cultivation, with the cultivation of corn subsequently. The found results were more pronounced in relation to soil management through subsoiling than in relation to animal trampling. There was no significant difference between the evaluated forage cultures, in relation to the effect of cattle trampling on soil compaction. The effects of soil compaction by cattle trampling were detectable through the physical evaluations carried out (SD, PR and TP) and were not harmful to the production of corn cultivated in sequence to winter crops (black oats and dual-purpose wheat).

Keywords: Penetration resistance. Animal trampling. Subsoiling. Grazing.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e a crescente demanda por alimentos traz a necessidade de cada vez mais otimizar o uso do solo. Assim sendo, num cenário onde há uma grande oscilação nos preços dos insumos e produtos agrícolas, os agricultores são submetidos a um grande desafio, que é produzir cada vez mais, com redução dos custos de produção e ainda mantendo a qualidade do solo. Nesse sentido, a diversificação das atividades dentro de uma propriedade, somada a uma atividade que gere renda em períodos mais críticos, como em período de clima frio, é fundamental para garantir uma agricultura estável e produtiva em regiões como o Sul do Brasil (CASSOL, 2003; SAATH; FACHINELLO, 2018).

Nesse contexto, o sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) se torna uma alternativa viável, pois é um sistema que otimiza o uso do solo com a produção de grãos em uma mesma área que posteriormente será cultivada com pastagem para produção animal. Segundo Costa *et al.* (2015), o uso do solo durante o período de inverno promove a melhoria da sua qualidade, através da quantidade de matéria seca acumulada provinda das pastagens quando bem manejadas, deixando um residual para cobertura, além da proteção da superfície do solo. Através dos processos de decomposição e mineralização dos resíduos vegetais, também ocorre liberação considerável de nutrientes ao sistema produtivo, beneficiando as culturas cultivadas em sucessão na área. Ainda, ocorre a melhoria da produtividade das pastagens pelo aproveitamento da adubação residual da lavoura de grãos anterior, tendo uma maior reciclagem de nutrientes e incremento de matéria orgânica no solo no final do período de utilização da pastagem. Dessa forma, o sistema ILP proporciona grande aporte de palha para o Sistema Plantio Direto (SPD), desde que este seja manejado corretamente (ZONTA *et al.*, 2016).

No entanto, dependendo da intensidade de pastejo e da carga animal no sistema de ILP em SPD, a ação do pisoteio animal pode influenciar as propriedades físicas do solo, podendo causar problemas de compactação.

Esse fato será constatado ou não, dependendo da forma de manejo da pastagem e dos animais (BORTOLINI *et al.*, 2016). De acordo com Lanzasova (2005), o manejo incorreto dos animais no pastejo de inverno, como por exemplo, superlotação, pastoreio em condições de umidade do solo elevadas e utilização contínua de pastagens, promovem a compactação do solo. Essa é uma das principais causas de degradação em áreas cultivadas, podendo ser causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal em sistemas de ILP (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001).

A compactação causada pelo pisoteio animal é diferente da causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, devido à pressão exercida pelos cascos ser mais concentrada do que em um pneu agrícola, onde a área de contato com o solo é maior (HAMZA; ANDERSON, 2005; BOTTA *et al.*, 2010). A utilização de diferentes alturas de manejo da pastagem pode contribuir para diferentes graus de compactação, pois, a maior intensidade de pastejo resulta em uma menor altura de pastagem, que reflete em menor cobertura vegetal, aumento do tempo do pastejo dos animais no local e maior deslocamento pela área em busca do alimento, aumentando a chance de ocorrer pressão do casco em uma mesma área várias vezes (CASSOL, 2003; ASSIS *et al.*, 2015). Além disso, o pisoteio animal, influenciando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, conseqüentemente afetará os sistemas radiculares das plantas, e por fim o seu rendimento (DALCHIAVON *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2000).

Quando o solo é compactado, sua resistência à penetração é aumentada e a porosidade diminuída. Com isso, a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são também reduzidas. Em conseqüência, ocorre o aumento do escoamento superficial, acarretando menor crescimento das plantas por falta de água e restrição ao crescimento de raízes (REICHERT *et al.*, 2007). Portanto, o processo de infiltração de água, que é governado pela quantidade e continuidade de macroporos e pela porosidade total do solo, é de extrema importância, pois determina o balanço de água na zona das raízes e o deflúvio superficial, que é

responsável pelo processo de erosão durante chuvas fortes mesmo em SPD (SATO *et al.*, 2012; PANACHUKI *et al.*, 2006).

Diante disso, o monitoramento da compactação do solo deve ser constante, e para isso alguns atributos físicos podem ser usados como referência. Reinert e Reichert (2006) definiram valores críticos de densidade em diferentes tipos de solo, em que, para solos argilosos (> 55% de argila) o valor é de aproximadamente $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$; para solos de textura média (20 a 55% de argila) $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ e para solos de textura arenosa (< 20% de argila) $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$. A macroporosidade do solo também é essencial para que aconteça boa aeração, sendo considerado valor crítico o mínimo de 10% de espaço aéreo no solo (REINERT; REICHERT, 2006). Outro parâmetro utilizado é a resistência do solo à penetração (RP). Conforme Rosa *et al.*, (2018) e Pedrotti *et al.* (2001), esse parâmetro é utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece ao tentar mover algo através dele, como uma raiz em crescimento. Assim, para as culturas de verão, como soja e milho, valores de RP superiores a 2.000 KPa geram perdas de rendimento e estão associadas ao impedimento do crescimento de raízes. Resistências de 2.350 KPa e acima podem provocar redução de até 86% de crescimento radicular da cultura da soja (FALKER, 2008).

Perante o exposto, pressupõe-se que áreas submetidas ao pisoteio animal apresentem valores maiores de densidade e resistência do solo à penetração, e menores de porosidade total, do que as áreas sem pisoteio animal, condição essa que pode ser alterada por um sistema de ILP bem conduzido. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do pisoteio animal sobre a produtividade da cultura do milho e algumas propriedades físicas do solo em sistema de ILP na região noroeste do Rio Grande do Sul.

2 DESENVOLVIMENTO

O experimento foi implantado no ano de 2018, no município de Campo Novo, Rio Grande do Sul, Brasil. O clima da região enquadra-se na

classificação de Köppen como Cfa (clima subtropical úmido com verões quentes), com precipitação média situada entre 1.500 e 1.800 mm e temperatura média anual entre 15 e 18°C. O solo é caracterizado conforme Streck (2008) como Latossolo Vermelho distroférico típico, e apresentou antes da instalação do experimento os seguintes atributos: teor de argila = 61%; matéria orgânica = 2,6%; teor de P = 5,3 mg/dm³; K = 177,8 mg/dm³; pH = 6,1; Al e H+AL = 0,142 e 3,6 cmol^c/dm³, respectivamente; Ca e Mg = 5,9 e 2,9 cmol^c/dm³, respectivamente; CTC efetiva = 9,4 cmol^c/dm³. A área onde foi instalado o experimento era utilizada com integração lavoura-pecuária desde o ano de 2002, onde durante o verão era realizado o cultivo de soja, rotacionando com milho sob plantio direto, sendo as operações de semeadura mecanizada realizadas com haste sulcadora, com a profundidade variando de 10 a 12 cm todos os anos. Após a colheita da cultura de verão, no outono/inverno, a área era mantida com a cultura de azevém estabelecida por ressemeadura natural, ou então com a cultura de aveia preta semeada mecanicamente, ambas servindo de alimento para bovinos leiteiros.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial 2 x 2 x 2, ou seja, 2 culturas (aveia e trigo duplo propósito), 2 tipos de subsolagem (com e sem subsolagem) e 2 sistemas de pastejo (com e sem pastejo), em 4 profundidades de avaliação de atributos físicos (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm). As parcelas experimentais mediram 5 m de comprimento e 5 m de largura, totalizando 25 m². Os tratamentos avaliados foram: não subsolado sem pastejo, não subsolado com pastejo, subsolagem com pastejo e subsolagem sem pastejo. As parcelas com o tratamento semeadura direta sem pastejo e subsolagem sem pastejo foram excluídas de pastejo para servirem de parâmetro comparativo. Os tratamentos semeadura direta com pastejo e subsolagem com pastejo foram submetidos a pastoreio rotativo controlado de duas espécies forrageiras. As duas espécies forrageiras que foram utilizadas foram trigo duplo propósito (*Triticum aestivum*) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) em cultivo solteiro.

Para determinar o grau de compactação nos diferentes tratamentos foram realizadas avaliações de Resistência do solo à Penetração (RP), Densidade do Solo (DS), e Porosidade Total (PT). A caracterização inicial de densidade e porosidade total do solo da área experimental pode ser observadas na Tabela 1.

No dia 17 de junho de 2018 foi realizada a caracterização inicial da área experimental com a utilização de anéis volumétricos, com dimensões de 5 cm de diâmetro e 3 cm de altura, para avaliar a DS e PT, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997). Nas parcelas submetidas à subsolagem foi utilizado um subsolador de 5 hastes trabalhando até uma profundidade de 0,35 m e espaçamento de 0,45 m entre hastes, tracionado por trator agrícola.

Para a semeadura das duas culturas foi utilizada uma semeadora para plantio direto, equipada com disco de corte duplo para abertura das linhas, num total de 15 linhas espaçadas de 0,17 m entre si, tracionada pelo mesmo trator agrícola utilizado no preparo da área. A cultivar de trigo duplo propósito (TDP) utilizada foi a BRS Pastoreio, e a de aveia preta (AV) foi a Embrapa 139, seguindo recomendações de densidade populacional para pastejo, de aproximadamente 300 plantas aptas por m². A dose de fertilizante utilizada por hectare por ocasião da semeadura foi de 250 kg da fórmula comercial NPK 10-20-20. Após a semeadura os tratamentos sem pastejo foram cercados para evitar entrada de animais.

No dia 28 de agosto os animais entraram na área para pastejar, quando as culturas apresentavam em média 0,30 m de altura. Para que os animais pastegassem uniformemente por toda área foram utilizadas 20 cabeças de bovinos leiteiros de aproximadamente 450 kg de peso vivo, ou seja, alta lotação, pastejando por uma hora, até o rebaixamento da pastagem para 10 cm de altura da resteva, preservando as estruturas de reservas das plantas para posterior rebrote. Para o rebrote das culturas não foi utilizado adubação nitrogenada, seguindo o manejo adotado pelo produtor nas demais áreas. Após decorridos 15 dias do primeiro pastejo os animais entraram novamente na área

para realizar o segundo pastejo. Os pastejos ocorreram sempre alguns dias após as últimas chuvas, para evitar pisoteio em condições de umidade do solo elevada. Após o segundo pastejo a área ficou sem a entrada dos animais durante 20 dias, permitindo o rebrote das culturas e manutenção da palhada para o SPD. Na área pastejada a produção média das plantas (tanto para AV quanto para TDP) alcançou ao final do período de pastejo 2,2 t por ha de palhada, enquanto na área não pastejada a produção média foi de 3,5 t por ha de palhada, a qual foi manejada com a utilização de herbicida para dessecação pré-semeadura, sendo utilizado 2,5 litros por ha do princípio ativo Glifosato, aplicados via pulverização terrestre em pulverizador acoplado ao trator com uma taxa de 100 litros de calda por ha.

No dia 2 de outubro foram realizadas as coletas de anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo e da porosidade total, em cada uma das parcelas seguindo a metodologia adotada (Embrapa,1997). No dia 6 de outubro foi realizado a semeadura de milho híbrido (Brevant®), cultivar B2688PWU, com população final de aproximadamente 70 mil plantas por ha, sendo esta a população indicada para a região. A semeadora utilizada possuía 7 linhas espaçadas de 45 cm, com haste sulcadora, e aplicou o fertilizante na linha de semeadura. A dose utilizada de fertilizante no momento da semeadura foi de 350 kg por ha da formulação comercial NPK 10-20-20, sendo complementada com adubação nitrogenada na dosagem de 200 kg por ha do fertilizante comercial ureia (45% de N) quando a cultura apresentava 4 folhas. No dia 17 de fevereiro de 2019, para a determinação da produtividade de grãos de milho, foram colhidos 2 m² do centro de cada parcela experimental, e após a colheita e debulha manual de cada amostra, foi realizada a secagem dos grãos até atingir 13% de umidade, pesado e posteriormente estimado a produção em sacas por ha.

As avaliações de resistência do solo à penetração foram realizadas no dia 08 de agosto de 2019. Até esse momento a área estava em pousio, somente com os restos culturais sobre o solo e sem o tráfego de máquinas ou animais. Foi utilizado um penetrômetro eletrônico, o qual realizou leituras de

RP a cada centímetro, até a profundidade de 20 cm, com 12 repetições por tratamento. Todas as avaliações de RP foram realizadas no mesmo dia, com o solo em condição de friabilidade, para evitar interferência nos dados por excesso ou deficiência de umidade. Após as determinações de campo, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância, utilizando os procedimentos disponíveis no pacote estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

2.1 Resultados e discussões

Os valores médios de DS nas diferentes camadas de solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto podem ser observados na Tabela 2.

Entre as culturas AV e TDP não houve diferença significativa de DS entre as camadas avaliadas. Entre os sistemas não subsolados (Não Sub.) e subsolados (Sub.), a DS na camada de 0-5 cm apresentou diferença significativa para o TDP, tanto na área pastejada ($1,25 \text{ Mg m}^{-3}$, Não Sub. e $1,04 \text{ Mg m}^{-3}$ no Sub.), quanto na área não pastejada (Não Sub. $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$ e Sub. $0,96 \text{ Mg m}^{-3}$). Isso mostra que, neste caso, a escarificação foi benéfica no sentido de reduzir a densidade do solo.

Na camada de 5-10 cm, referente aos tratamentos Não Sub. e Sub., houve diferença significativa para a DS na área pastejada para a cultura do TDP, com valores médios de $1,36$ e $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Na área não pastejada houve diferença significativa na cultura da AV entre os sistemas Não Sub. e Sub., com valores médios de DS de $1,35$ e $1,11 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Para a cultura do TDP na área não pastejada também houve diferença significativa entre os sistemas Não Sub. e Sub., com médias de DS de $1,36$ e $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Em estudo realizado por Seki *et al.* (2015), o solo que recebeu a operação de subsolagem apresentou, na camada 0-10 cm, valor de DS 15% menor que o observado no mesmo solo não subsolado e sob plantio direto com uso de semeadoras utilizando os

mecanismos sulcadores tipo discos duplos desencontrados, mesmo 11 meses após a realização dos preparos.

Na camada 10-15 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos Não Sub. e Sub. para a área pastejada. Na área não submetida ao pastejo houve diferença significativa para as culturas da AV e TDP, entre os tratamentos Não Sub. e Sub., com médias de DS de 1,43 e 1,16 Mg m⁻³, respectivamente para AV e de 1,4 e 1,19 Mg m⁻³, respectivamente para o TDP. Na camada de 15-20 cm houve diferença significativa para a cultura da AV na área pastejada, onde nos sistemas Não Sub. e Sub. as médias foram de 1,39 Mg m⁻³ e 1,27 Mg m⁻³, respectivamente. Kunz *et al.* (2013), avaliando a compactação do solo em integração lavoura-pecuária leiteira observaram o mesmo comportamento entre os sistemas de cultivo, no qual o plantio direto/com pastejo apresentou maiores valores de DS e microporosidade e menores de macroporosidade e porosidade total na camada superficial do solo, quando comparado aos valores dos sistemas plantio direto/sem pastejo e solo escarificado/com pastejo.

Entre os sistemas pastejado e não pastejado houve diferença significativa somente na camada de 5-10 cm, no qual o tratamento Sub., na área pastejada, apresentou média de DS de 1,29 Mg m⁻³ e na área não pastejada de 1,11 Mg m⁻³. Resultados encontrados por Lanzasova *et al.* (2007) mostraram que a compactação do solo decorrente do pisoteio bovino, durante os três anos de duração do estudo, segundo os valores de densidade do solo, limitou-se à camada superficial do solo, de 0-5 cm de profundidade, não havendo diferença nas camadas subsequentes.

Na camada de 0-5 cm, os valores de PT não demonstraram diferença significativa entre os sistemas Não Sub. e Sub., na área pastejada. Nos tratamentos sem pastejo a cultura do TDP apresentou diferenças significativas entre os sistemas Não Sub. e Sub., com valores de PT de 41,17 e 50,06 %, respectivamente. Na camada de 5-10 cm não houve diferença significativa entre os sistemas Não Sub. e Sub., tanto na área pastejada como na não pastejada. Na camada 10-15 cm houve diferença significativa entre os cultivos

para a cultura da AV na área pastejada, no qual o tratamento Não Sub. apresentou menor quantidade de poros (37,57 %) do que o tratamento Sub. (44,07 %). A mesma diferença ocorreu na área não pastejada para a cultura da AV, onde os sistemas Não Sub. e Sub. apresentaram médias de PT de 41,90 e 48,26 %, respectivamente. Na camada 15-20 cm não houve diferenças significativas entre os cultivos na área pastejada, assim como na não pastejada (Tabela 3). Comportamento similar foi obtido por Debiasi *et al.* (2012), o qual não encontrou diferenças significativas em camadas mais profundas para os atributos DS e PT, avaliando diferentes pressões de pastejo. Essa constatação indica que a pressão exercida pelo pisoteio bovino se restringe às camadas superficiais do solo, corroborando resultados também encontrados por Abreu *et al.* (2004), Lanzaova *et al.* (2007) e Kunz *et al.* (2013).

Entre as áreas pastejada e não pastejada, houve diferença na camada de 5-10 cm, no sistema Sub., no qual a área pastejada apresentou porosidade total de 40,75%, sendo menor que no sistema Sub. sem pastejo (48,84%) (Tabela 3). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Veiga *et al.* (2012), que ao avaliar o efeito de formas de semeadura e do intervalo entre a retirada dos animais e a dessecação da pastagem anual de inverno, verificaram menor porosidade total e maior densidade do solo nas camadas 0-5 e 5-10 cm. Por outro lado, Carvalho *et al.* (2011), avaliando diferentes intensidades de manejo da pastagem encontraram impacto do pisoteio animal nos atributos físicos do solo somente na camada superficial (0-5 cm), através da diminuição da porosidade e do aumento na densidade do solo. Na camada de solo abaixo (5-10 cm) os autores não encontraram diferenças significativas nos atributos DS e PT mesmo em condições de pastejo intenso.

Referente às avaliações de RP, entre as culturas da AV e TDP não houve diferença significativa em ambas as profundidades estudadas (Tabela 4). Em função de uma falha na configuração do Penetrômetro, a camada de 15 a 20 cm de profundidade não foi avaliada.

Na camada de 0-5 cm não houve diferenças significativas entre os sistemas Não Sub e Sub., tanto para a área submetida ao pastejo quanto para

a não pastejada. Na camada de 5-10 cm houve diferença na cultura da AV submetida ao pastejo, onde o sistema Não Sub. apresentou maior RP (2659 kPa), comparado com o sistema Sub. (2160 kPa). Na área não pastejada também houve diferença na cultura da AV, com médias de 2399 e 1576 kPa nos sistemas Não Sub. e Sub., respectivamente (Tabela 4). Kunz *et al.* (2013) encontraram valores semelhantes de RP nos primeiros 7 cm de profundidade do solo, onde o tratamento Sub. manteve valores abaixo da RP crítica de 2000 kPa (SILVA *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2012).

Com relação a camada de 10-15 cm (Tabela 4) não houve diferença entre os sistemas Não Sub. e Sub. na área pastejada para ambas as culturas. Por outro lado, na área que não foi realizado o pastejo houve diferença significativa em ambas as culturas, nos dois sistemas. Na cultura da AV, as médias de RP foram de 2578 e 1988 kPa no sistema Não Sub. e Sub., respectivamente. Para o TDP, o sistema Não Sub. também apresentou maior RP, com média de 2455 kPa. Já no sistema Sub. a média foi de 1917 kPa. Considerando a eficiência na redução da RP, a subsolagem diminuiu em 22,8 e 21,9% os seus valores na cultura da AV e do TDP, respectivamente. Para Kunz *et al.* (2013) a escarificação apresentou menor RP até a profundidade de 12 cm, onde sucedeu o efeito das hastes do escarificador no rompimento das camadas compactadas, e os valores de RP acima de 2000 kPa ocorreram no tratamento semeadura direta com pastejo e semeadura direta sem pastejo, onde o maior incremento aconteceu na camada próxima aos 10 cm. Nessa camada os autores também encontraram os maiores valores de DS e os menores de macroporosidade. Dos atributos físicos do solo avaliados a RP mostrou-se a mais sensível às alterações causadas pela escarificação, como também observado em outros estudos (AMADO *et al.*, 2005; LANZANOVA, 2005; NAGAHAMA *et al.*, 2016).

Quanto às áreas pastejadas e não pastejadas houve diferenças significativas nos resultados de RP na camada de 0-5 cm. Na cultura do TDP pastejado e com sistema Sub., a RP foi maior, com média de 1857 kPa, enquanto na área não pastejada foi menor, com média de 1088 kPa (Tabela 4).

Na camada de 5-10 cm houve diferença significativa no sistema Sub. para as duas culturas, onde na área pastejada a RP foi maior do que na área não pastejada, com valores de 2160 e 2568 kPa na AV e TDP, respectivamente. Nos tratamentos sem pastejo a RP no sistema Sub. foi menor, demonstrando diferença significativa, com médias de 1576 e 1688 kPa na AV e TDP, respectivamente. Na camada de 10-15 cm, para o sistema Sub., houve diferenças significativas para a cultura do TDP, em que na área pastejada a média de RP foi 2464 kPa, sendo maior que naquela não submetida ao pastejo, com média de 1917 kPa. O efeito do pisoteio bovino é uma força que atua no sentido de compactar o solo, enquanto o efeito da escarificação atua no sentido de descompactar. Nos tratamentos que foram pastejados e não foram escarificados é de se esperar maiores valores de RP. Resultados semelhantes também foram encontrados por Cassol (2003), Nicoloso *et al.* (2008), Giacomeli *et al.* (2016) e Barriga (2019).

Os valores médios do rendimento do milho, cultivado em sistema de integração-lavoura pecuária leiteira sob plantio direto, podem ser observados na Tabela 5.

O rendimento do milho cultivado após os diferentes tratamentos aplicados não apresentou diferenças significativas, o que pode ser atribuído ao fato de que foi avaliado apenas um ano de experimento. Possivelmente sejam necessárias mais repetições dos tratamentos para que estes possam expressar seus efeitos (caso existam) de maneira mais contundente ao longo do tempo, no desenvolvimento de culturas. Esses resultados vão de acordo com Silveira *et al.* (2011), que não encontraram diferenças significativas entre as produtividades do milho nas sucessões anuais milho/pastagem/feijão irrigado e milho/feijão irrigado, indicando que a inclusão da pastagem na sucessão não interferiu significativamente nas produtividades do milho. Veiga *et al.* (2012) encontraram resultados semelhantes ao avaliar a produtividade de soja e milho cultivados após o pastejo em aveia preta no período de inverno, em sistema plantio direto. Carvalho *et al.* (2011), avaliando componentes de rendimento do milho na safra 2010/11, em diferentes intensidades de pastejo, embora tenha

havido um menor número de grãos por planta em intensidade moderada (20 e 30 cm de altura do pasto), não encontraram diferença no rendimento de grãos por área, indicando novamente que não houve efeito negativo do pisoteio bovino na produtividade da cultura posterior ao pastejo.

Em relação ao presente trabalho, o curto período de tempo (uma safra agrícola) em que foi avaliada a produtividade da cultura do milho subsequente ao período de pastejo pode ser o motivo de não ter havido diferenças significativas em relação ao rendimento de grãos nos diferentes tratamentos avaliados, sendo importante e recomendado que estudos semelhantes e de longo prazo sejam realizados.

2.2 Tabelas

Tabela 1 - Avaliações da densidade do solo (DS) e porosidade total (PT) na caracterização inicial da área experimental, em Campo Novo - RS, 2019.

Profundidade Camada (cm)	Propriedades físicas do solo	
	PT (%)	DS (Mg.m ⁻³)
0-5	56,80	1,01
5-10	53,45	1,43
10-15	54,06	1,43
15-20	55,07	1,48
CV%	3,36	1,43

Fonte: autor (2019)

Tabela 2 - Avaliações da densidade do solo (DS) em Mg m⁻³, após o pastejo de inverno, em diferentes camadas de solo submetido a integração lavoura pecuária leiteira sob plantio direto, em Campo Novo - RS, 2019.

	Profundidade (cm)							
	0-5		5-10		10-15		15-20	
Cultura	Pastejado							
	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.
AV	1,17a* α	1,13a α	1,37a α	1,29a β	1,35a α	1,24a α	1,39a β	1,27a α

TDP	1,25aB**α	1,04aAα	1,36aBα	1,19aAα	1,35aAα	1,33aAα	1,34aAα	1,32aAα
Não pastejado								
Cultura	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.
AV	1,16aAα***	1,01aAα	1,35aBα	1,11aAα	1,43aBα	1,16aAα	1,45aBα	1,28aAα
TDP	1,17aBα	0,96aAα	1,36aBα	1,19aAα	1,40aBα	1,19aAα	1,38aAα	1,27aAα
CV (%)	9,64		7,95		7,54		5,75	

Fonte: autor (2019)

*Letras minúsculas iguais na coluna indicam não haver diferença significativa para o manejo do solo com culturas diferentes pelo teste de Tukey a 5%. **Letras maiúsculas diferentes na linha indicam haver diferença significativa no sistema de manejo do solo (subsolado e não subsolado) para cada camada de solo avaliada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ***Letras gregas diferentes na coluna entre Pastejado e Não Pastejado, para uma mesma cultura, indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3 - Avaliações da porosidade total (PT), em %, após o período de pastejo de inverno, em diferentes camadas de solo submetido a integração lavoura-pecuária leiteira sob plantio direto, em Campo Novo - RS, 2019.

Profundidade (cm)								
0-5			5-10			10-15		15-20
Pastejado								
Cultura	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.
AV	47,6a*Aα	49,49aAα	43,3aAα	40,75aAβ	37,5aBα	44,0aAα	42,6aAα	42,2aAα
TDP	43,5aA**α	50,96aAα	40,3aAα	44,06aAα	40,8aAα	44,6aAα	42,2aAα	41,1aAα
Não Pastejado								
Cultura	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.
AV	46,8aAα***	48,49aAα	43,5aAα	48,84aAα	41,9aBα	48,2aAα	42,0aAα	44,9aAα
TDP	41,1aBα	50,06aAα	43,3aAα	41,56aAα	40,7aAα	45,6aAα	41,5aAα	43,2aAα
CV (%)	11,4		12,5		8,7		5,5	

Fonte: autor (2019)

*Letras minúsculas iguais na coluna indicam não haver diferença significativa para o manejo do solo com culturas diferentes pelo teste de Tukey a 5%. **Letras maiúsculas diferentes na linha

indicam haver diferença significativa no sistema de manejo do solo (subsolado e não subsolado) para cada camada de solo avaliada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ***Letras gregas diferentes na coluna entre Pastejado e Não Pastejado, para uma mesma cultura, indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 4 - Avaliações da Resistência à Penetração (RP), em KPa, após o período de pastejo de inverno, em diferentes camadas de solo submetido a integração lavoura pecuária leiteira sob plantio direto, realizadas logo após a retirada dos animais da área, em Campo Novo - RS, 2019.

Profundidade (cm)							
		0-5		5-10		10-15	
Pastejado							
Cultura	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	
AV	1822aA α *	1506aA α	2659aB α	2160aA β	2532aA α	2221aA α	
TDP	1890aA α	1857aA β	2632aA α	2568aA β	2631aA α	2464aA β	
Não Pastejado							
Cultura	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	Não Sub.	Sub.	
AV	1433aA α	946aA α	2399aB α	1576aA α	2578aB α	1988aA α	
TDP	1400aA α	1088aA α	2399aB α	1688aA α	2455aB α	1917aA α	
CV (%)	31,01		14,09		11,59		

Fonte: autor (2019)

*Letras minúsculas iguais na coluna indicam não haver diferença significativa para o manejo de solo com culturas diferentes pelo teste de Tukey a 5%. **Letras maiúsculas diferentes na linha indicam haver diferença significativa no sistema de manejo do solo (subsolado e não subsolado) para cada camada de solo avaliada, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ***Letras gregas diferentes na coluna entre Pastejado e Não Pastejado, para uma mesma cultura, indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 5 - Produtividade de grãos de milho, em sacas por hectare, cultivado em sistema de integração lavoura pecuária leiteira sob plantio direto, em Campo Novo - RS, 2019.

Produtividade de milho (sc/ha)		
Pastejado		
Cultura	Não Sub.	Sub.
AV	142,1aA α *	152,6aA α
TDP	142,5aA α	134,8aA α
Não Pastejado		
Cultura	Não Sub.	Sub.
AV	112,9aA α	128,1aA α
TDP	131,5aA α	140,7aA α

Fonte: autor (2019)

*Letras minúsculas iguais na coluna, entre culturas diferentes; letras maiúsculas iguais na mesma linha entre sistemas Sub e Não Sub; letras gregas iguais na coluna entre Pastejado e Não Pastejado para uma mesma cultura; indicam não haver diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5%.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A subsolagem alterou os valores de DS, PT e RP até a profundidade de 15 cm, indicando haver maior revolvimento das camadas superficiais do solo do que camadas mais profundas (a partir de 15 cm).

O uso da subsolagem proporcionou maiores alterações no solo do que as culturas avaliadas (trigo duplo propósito ou aveia preta), considerando as propriedades físicas estudadas (DS, RP e PT).

Os efeitos da compactação do solo pelo pisoteio bovino foram detectáveis através das avaliações físicas realizadas (DS, RP e PT) não sendo prejudiciais para o rendimento de grãos da cultura do milho cultivado em sequência às culturas de inverno (aveia preta e trigo duplo propósito).

REFERÊNCIAS

ABREU, S.L. et al. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:519- 531, 2004.

AMADO, T.J.C. et al. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, edição 89, setembro/outubro de 2005. Aldeia Norte, Passo Fundo – RS.

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Feitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:717-723, 2001.

ASSIS, P.C.R. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.309-316, 2015.

BARRIGA, P. A. B. **Produção de novilhos em pastagem de inverno com diferentes intensidades de pastejo e adubação nitrogenada em integração lavoura-pecuária**. Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pato Branco, 2019.

BORTOLINI, D. et al. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages. v.15, n.1, p.60-67, 2016.

BOTTA, G. F. et al. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean pampas. **Soil Tillage Research**. 110:167–174.2010.

CARVALHO, P.C.D.F. et al. Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil. **Boletim técnico**. Porto Alegre, RS 2011

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS), Brasil Outubro/2003.

COSTA, N.R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, vol. 39, núm. 3, maio-jun, 2015, p. 852-863.

DALCHIAVON, F.C.; CARVALHO, M.P.; NOGUEIRA, D.C.; ROMANO, D.; ABRANTES, F.L.; ASSIS, J.T.; OLIVEIRA, M.S. Produtividade da soja e resistência mecânica à penetração do solo sob sistema plantio direto no cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.41, p.8-19, 2011.

DEBIASI, H. et al. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.7, p.1180-1186, jul, 2012

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALKER. Automação Agrícola, Disponível em: https://ftp.unioeste.br/SDUM/MGQ_Manual%20de%20Garantia%20de%20Qualidade/An%C3%A1lise%20de%20Solo/ANEXO%20VIII.pdf . Acesso em 10 de novembro de 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

GIACOMELI, R. et al. Escarificação do solo e sulcadores em semeadora para cultivo de milho em Planossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.261-270, 2016.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction incropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005.

KUNZ, M. et al - Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, 37:1699-1708, 2013.

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v.31, n.5, p.1131- 1140, 2007.

LANZANOVA, M.E., **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Santa Maria, RS, Brasil 2005.

LIMA, C.L.R. et al. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil Tillage Research**, 124:190-195, 2012.

NAGAHAMA, H. de J. et al. Efeitos da escarificação mecânica nos atributos físicos do solo e agronômicos do capim elefante. **Revista Ceres** [online]. 2016, vol.63, n.5, pp.741-746. ISSN 0034-737X. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201663050020>. Acesso em: 21 nov.2019.

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, Brasil, v32, p.1723-1734, 2008.

PANACHUKI, E. et al. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, p. 129-137. 2006.

PEDROTTI, A.et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, 25:521-529, 2001.

REICHERT, J.M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, 5:49-134, 2007.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Propriedades física do solo**. Santa Maria. Maio/2006. 18 p.

ROSA,S.F. et al. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden na pampa gaúcha. **Ciência Florestal**, Santa Maria, vol. 28, n. 2, p. 580-590, 2018.

SATO, J.H., *et al.* Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16 (2), 189–193. 2012

SAATH, K.C.O; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.56, n.2, 2018.

SEKI, A.S. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 460-468, jul-set, 2015

SILVA, A. P. *et al.* Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32:1-10, 2008.

SILVA, V.R. *et al.* Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:191-199, 2000.

SILVEIRA, P.M. *et al.* Atributos do solo e produtividade do milho e do feijoeiro irrigado sob sistema integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1170-1175, 2011.

STRECK, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.

VEIGA, D.M. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.444-450, mar, 2012

ZONTA, J.H. *et al.* **Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) para a Região Agreste do Nordeste**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016.

Enviado em: 26/04/2021

Aceito em: 01/07/2022

Editor Chefe: Prof. Dr. Everaldo dos Santos

Editor Adjunto: Dr. Wilian Demetrio