

Influência do manejo mecânico e da adubação verde nos atributos físicos de Latossolo
Influence of mechanical management and green manure on physical attributes of Oxisol
Influencia del manejo mecánico y el abono verde en los atributos físicos de Oxisol

Recebido: 27/03/2020 | Revisado: 28/03/2020 | Aceito: 02/04/2020 | Publicado: 03/04/2020

Leandro Rampim

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8300-7424>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: rampimleandro@yahoo.com.br

Cristiano André Pott

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4630-2659>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: cpott@unicentro.br

Antonio Junior Deubatei Volanin

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0564-6137>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: antoniojrvolanin@gmail.com

Jhonatan Spliethoff

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4618-0305>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: jhonatanspliethoff@hotmail.com

Edson Lucas Camilo

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8170-0866>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: edson_luks@hotmail.com

Marcelo Luiz Camilo

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4591-7739>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: mcamilo664@gmail.com

Aline Mariele Czekalski Conrado

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4630-2659>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: alinemarieleczkalski@gmail.com

Caio Ericles Kolling

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2019-5197>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: caiokolling@hotmail.com

Perivaldo Mateus Conrado

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6899-190X>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: perivaldomattheus@gmail.com

Ernani Garcia Neto

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9136-375X>

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

E-mail: ernani_gn@hotmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o manejo mecânico do solo e da adubação verde cumulativa por 22 meses na qualidade física do solo. O estudo foi conduzido na fazenda escola da UNICENTRO em Guarapuava, PR. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x2x3 com 4 repetições. Fator 1: escarificação ou não; Fator 2: semeadura com disco duplo ou haste sulcadora; Fator 3: plantas de cobertura (nabo forrageiro + aveia preta, mix de culturas e pousio). Foram avaliados os atributos físicos do solo por meio de amostras indeformadas, resistência a penetração (RP) e produtividade da cultura da soja. A RP após 22 meses da escarificação evidenciou redução da compactação do solo, refletindo atuação da parceria com adubos verdes. Haste sulcadora foi uma alternativa viável para reduzir a RP na camada de 0,05-0,15 m de profundidade. O cultivo de nabo+aveia ou mix de culturas reduziu a RP durante o ciclo das culturas comerciais. Os atributos físicos do solo detectaram alterações no solo na camada de 0-0,10 m de profundidade devido a atuação das plantas de cobertura, com maior macroporosidade e menor densidade do solo ao escarificar o solo após 16 meses da escarificação e após o cultivo de adubo verde. Os atributos físicos do solo não detectaram alterações na camada de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade após cultivo de soja, 22 meses após a escarificação. A escarificação, adubos verdes e o uso de haste sulcadora não proporcionou alteração na produtividade da cultura da soja.

Palavras-chave: Plantas de cobertura; Qualidade física do solo; Sistema plantio direto; Resistência do solo.

Abstract

The objective of the work was to evaluate the mechanical management of the soil and green manure cumulative during 22 months in the physical quality of the soil. The study was conducted at the UNICENTRO school farm in Guarapuava, PR. The design used was that of randomized blocks, in a 2x2x3 factorial scheme with 4 replications. Factor 1: scarification or not; Factor 2: sowing with double disc or furrowing rod; Factor 3: cover crops (turnip + black oats, crop mix and fallow). Soil physical attributes, penetration resistance (RP) and soybean yield were evaluated. The PR after 22 months of scarification showed a reduction in soil compaction, reflecting the performance of the partnership with green manures. Grooving rod was a viable alternative to reduce RP in the 0.05-0.15 m depth layer. The cultivation of turnip + oats or crop mix reduced PR during the commercial crop cycle. The physical attributes of the soil detected changes in the soil in the layer of 0-0.10 m of depth due to the performance of the cover plants, with greater macroporosity of the soil and lower density of the soil when scarifying the soil after 16 months of scarification and after the cultivation of green manure. The physical attributes of the soil did not detect changes in the 0-0.10 m and 0.10-0.20 m depth layer after soybean cultivation, 22 months after scarification. Scarification, green manure and the use of a furrow did not alter the productivity of the soybean crop.

Keywords: Cover plants; Physical soil quality; No-tillage system; Cover crops; Soil resistance.

Resumen

El objetivo del trabajo fue evaluar el manejo mecánico del suelo y el abono verde acumulativo per 22 meses en la calidad física del suelo. El estudio se realizó en la granja escolar UNICENTRO en Guarapuava, PR. El diseño utilizado fue el de bloques al azar, en un esquema factorial 2x2x3 con 4 repeticiones. Factor 1: escarificación o no; Factor 2: siembra con doble disco o varilla de surco; Factor 3: cultivos de cobertura (nabo + avena negra, mezcla de cultivos y barbecho). Se evaluaron los atributos físicos del suelo, la resistencia a la penetración (RP) y el rendimiento de la soja. El RP después de 22 meses de escarificación mostró una reducción en la compactación del suelo, lo que refleja el desempeño de la asociación con abonos verdes. La varilla estriada era una alternativa viable para reducir el RP en la capa de profundidad de 0.05-0.15 m. El cultivo de nabo + avena o mezcla de cultivos redujo la RP durante el ciclo de cultivo comercial. Los atributos físicos del suelo detectaron cambios en el suelo en la capa de 0-0,10 m de profundidad debido al rendimiento de las plantas de cobertura, con una mayor macroporosidad del suelo y una menor densidad del

suelo al escarificar el suelo después de 16 meses de escarificación y después de la cultivo de abono verde. Los atributos físicos del suelo no detectaron cambios en la capa de profundidad de 0-0,10 my 0,10-0,20 m después del cultivo de soja, 22 meses después de la escarificación. La escarificación, el abono verde y el uso de un surco no alteraron la productividad del cultivo de soja.

Palabras clave: Plantas de cobertura; Calidad física del suelo; Sistema de labranza cero; Resistencia al suelo.

1. Introdução

Atualmente, o sistema de semeadura direta (SSD) é um dos mais importantes sistemas conservacionistas de manejo do solo. Esse sistema é adotado em mais de 117 milhões de hectares no mundo, dos quais cerca de 32 milhões estão no Brasil (Kassam et al., 2015). Porém, muitas vezes o que predomina é a utilização de áreas de pousio em sucessão as culturas comerciais, não trazendo ao agricultor os benefícios do SSD, além de aumentar o banco de sementes de plantas daninhas, dificultando o manejo nas culturas comerciais (Borges et al. 2015).

Observa-se na maioria das vezes a monocultura de soja/pousio ou sucessões por vários anos de soja/milho safrinha ocupando em torno de 90% da área total com SSD no Brasil (Dias, 2014), e com tráfego de máquinas cada vez mais frequente nas áreas, refletindo em compactação superficial (Reichert et al., 2009; Souza et al., 2018; Müller et al., 2019). A compactação ocorre em decorrência do intenso tráfego de máquinas agrícolas sobre o solo, em conjunto com elevada umidade no momento das operações, e ao não revolvimento do solo em SSD, torna maior as chances de ocorrer compactação do solo (Silva & Cabeda, 2006; An et al., 2015).

A compactação do solo é uma alteração estrutural onde ocorre a reorganização das partículas e de seus agregados, provocando redução do volume de macroporos (Chen & Wagenet, 1992; Oliveira et al., 2019; Nolla et al., 2019). Como resultado, tem-se limitação do solo, com redução nas trocas gasosas, menor absorção de nutrientes (Columbi & Keller, 2019) e, menor infiltração e redistribuição de água (Pinheiro et al., 2009; Pott et al., 2018). Nesta condição de solo, pode ocorrer atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das culturas, impactando em menor produtividade (Stone et al., 2002; Columbi & Keller, 2019; Spliethoff et al., 2020).

O SSD que apresenta camadas compactadas logo abaixo da superfície reflete em redução do crescimento radicular das culturas (Reichert et al., 2009) e causam redução do crescimento da parte aérea e produtividade das culturas (Klein, 2012, Moraes et al., 2020). Estudos apontam que essa camada compactada localiza-se entre as profundidades de 0,08 a 0,15 m, quando comparada com a camada superficial (0-0,05 m), que tem maior concentração de raízes, matéria orgânica, atividade biológica e maior atuação das semeadoras-adubadoras, o que reduz os efeitos da compactação (Genro Junior et al., 2004; Medeiros et al., 2015; Secco et al., 2009; Suzuki et al., 2008; Sivarajan et al., 2018).

Ao considerar que o manejo adotado pelos produtores tem resultado em problemas de compactação, torna-se indispensável o conhecimento da qualidade física do solo. Para diagnosticar a qualidade do solo, destaca-se a determinação da densidade do solo e da porosidade do solo por meio da coleta de amostras indeformadas, assim como da resistência a penetração (Klein, 2012). Sendo assim é de grande importância entender o processo de compactação no solo e buscar soluções que busquem diminuir seus efeitos (Drescher et al., 2016, Pott et al., 2019; Spliethoff et al., 2019).

Como alternativa para reduzir a compactação, tem-se indicado o emprego da escarificação mecânica (Camara & Klein, 2005; Spliethoff et al., 2019). Entretanto, seu efeito é temporário e o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em pouco tempo à sua condição original (Busscher et al., 2002; Calonego et al., 2017), mostrando efeito efêmero para os benefícios no solo, exigindo repetição da operação regularmente (Drescher et al., 2012; Nicoloso et al., 2008).

Nesse sentido, associar práticas mecânicas com uso de plantas de cobertura que possuem sistema radicular agressivo com capacidade de crescer em camadas compactadas, pode ser uma alternativa para formar macroporos estáveis e melhorar as condições físicas do solo, mantendo o solo em condições adequadas para o desenvolvimento das culturas, refletindo em aumento de produtividade. E acima de tudo, sempre com finalidade de selecionar estratégias corretas de descompactação para cada ambiente de produção podendo ajudar a aumentar a produtividade em SSD e otimizar o uso de tempo, trabalho, combustível e outros recursos (Pott et al., 2019), como o uso conjunto de plantas de cobertura (Nolla et al., 2019; Pott et al., 2019; Souza et al., 2019, Salomão et al., 2020).

Neste foco, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do manejo mecânico do solo e da adubação verde cumulativa durante 22 meses na qualidade física de Latossolo Bruno Distroférico típico na região Centro-Sul do Paraná.

2. Metodologia

O experimento realizado é uma pesquisa experimental em campo, do tipo qualitativa (Pereira et al. 2018) que foi conduzida na Fazenda escola da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Guarapuava – PR, cujas coordenadas geográficas situam-se em 25° 23' 04" S e 51° 29' 44" W, com altitude média de 1100 m. O experimento foi executado a campo em sistema de semeadura direta (SSD) em Latossolo Bruno Distroférico típico, de textura muito argilosa (Embrapa, 2018).

O clima da região é classificado como Cfb (subtropical mesotérmico úmido), conforme classificação de Köppen, sendo a temperatura média anual de 16,8° C, a média máxima de 36 °C e a mínima de 6,8 °C. A precipitação média anual é de 2000 mm e umidade relativa de 77,9% (Alvares et al., 2013).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais. Cada parcela experimental apresentou 4 m de largura x 16,5 m de comprimento. O fator 1 foi constituído de escarificação ou não no SSD. O fator 2 foi constituído de duplo disco ou haste sulcadora no sistema de sulcamento da semeadura. O fator 3 foi constituído de uso de espécies de plantas de coberturas: nabo forrageiro + aveia preta, mix (aveia preta, nabo forrageiro, centeio, ervilhaca e tremoço azul) e pousio (ausência de cultivo no inverno).

A escarificação foi realizada em julho de 2017, seguido de implantação de culturas de coberturas e durante a implantação da cultura de milho na safra 2017/18 foi realizado o uso de sulcador ou disco duplo. Após colheita de milho foram implantadas as culturas de cobertura em 2018. Na sequência, foi realizado a semeadura e condução da cultura da soja na safra 2018/19.

Após a condução das plantas de cobertura em 2018 (16 meses após escarificação) e após cultivo de soja em 2018/2019 (22 meses após escarificação) foram avaliados os atributos físicos do solo por meio da coleta de amostras indeformadas, coletadas com anéis volumétricos de 100 cm³ (Embrapa, 2011). Os anéis foram coletados com o auxílio de um macaco hidráulico, a fim de causar a menor deformação possível das amostras. A amostragem foi realizada em 2 profundidades do solo: 0,03-0,08m e 0,13-0,18m, coletando-se dois anéis por profundidade. Após a coleta, as amostras foram saturadas com água e submetidas à mesa de tensão, sob tensão de -6 kPa, e posteriormente seca em estufa à 105°C por 48 horas. Foram

determinadas a densidade do solo (Ds), a macroporosidade (macro) e a microporosidade (micro).

De forma semelhante, após o cultivo do milho em 2018 (12 meses após escarificação), após cultivo de adubos verdes em outubro de 2018 (16 meses após escarificação) e após cultivo da soja em abril de 2019 (22 meses após escarificação) foi realizada a avaliação da resistência do solo à penetração (RP). A RP foi determinada em três pontos por subparcela até a profundidade de 0,50 m, utilizando-se penetrômetro Penetrolog PLG 1020.

De forma complementar foi realizado a avaliação da massa de mil grãos (em gramas, g) e produtividade de grãos de soja da safra 2018/19. As plantas foram trilhadas para obtenção dos grãos, que foram pesados em balança de precisão. Os dados de produtividade foram corrigidos para 13% de umidade e convertidos para produtividade em kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ($p > 0,05$) pelo software Sisvar (Ferreira, 1998).

3. Resultados e Discussão

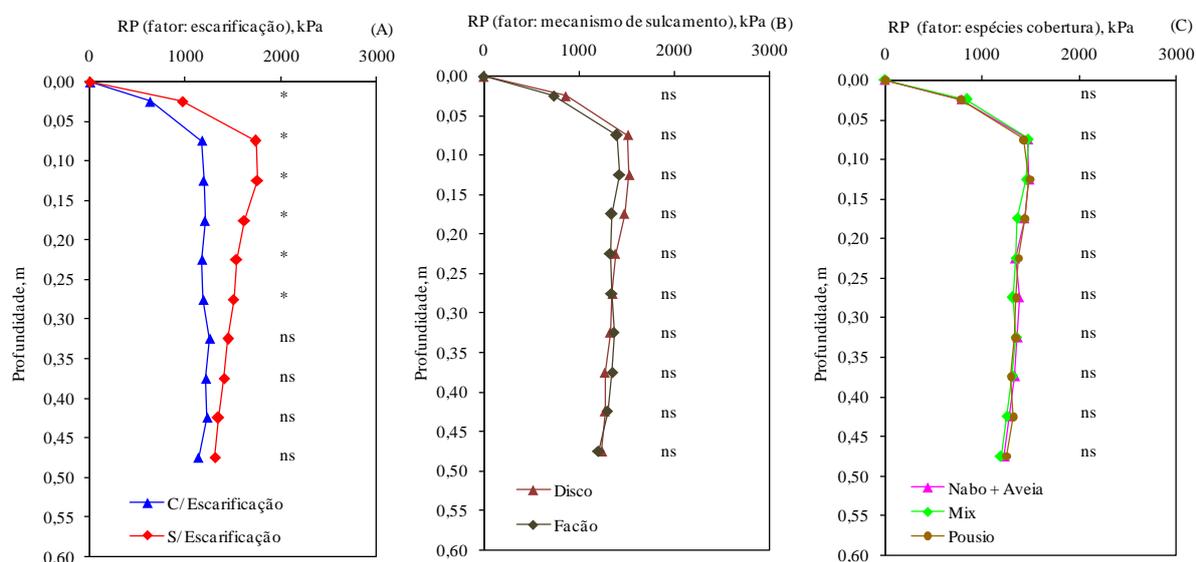
Para a resistência a penetração no solo (RP) em abril de 2018 após cultivo de milho (12 meses após escarificação), em decorrência do fator escarificação, foi constatado variação entre os fatores até a profundidade de 0,30m (Figura 1). De maneira geral é importante observar que os resultados encontrados para RP na Figura 1, mostram que houve redução de RP após o processo de escarificação (Figura 1A), com diferença significativa nas seis camadas superficiais em relação ao tratamento sem escarificação. Para os fatores mecanismos de sulcamento e plantas de cobertura não houve diferença entre os tratamentos (Figura B) e (Figura 1C).

Tal fato está relacionado ao efeito da escarificação, mesmo após 12 meses após a atuação mecânica no solo, que segundo Klein (2012), tende a ser importante em solos compactados, sendo necessário a utilização da técnica de escarificação mecânica (Camara e Klein, 2005). Nicoloso et al. (2008) também observaram diminuição da RP em Latossolo Vermelho cultivado em SSD onde realizou-se escarificação. Nunes et al. (2014) verificaram que os efeitos positivos da escarificação na diminuição da RP e sobre o desenvolvimento de plantas de milho não persistiram por mais de 18 meses após escarificação de área de SSD em Nitossolo Vermelho.

Mesmo sendo realizado o uso de haste sulcadora, ocorre atuação restrita às linhas de semeadura, muitas vezes sendo difícil detectar, mesmo após anos de cultivo, devido a

tendência de deslocar de forma semelhante nas áreas, fato que ocorre em áreas experimentais. Sobretudo, na camada de 0-0,05m foi detectado menor RP ao utilizar haste sulcadora, mostrando o efeito superficial do uso desta ferramenta, caso não seja utilizado carga máxima nas semeadoras, fato que geralmente ocorre em áreas experimentais. Tal fato evidencia que na ocorrência de camada superficial compactada, o uso de haste pode ser alternativa efetiva (Klein, 2012). O uso de apenas um ciclo no inverno com adubos verdes não foi suficiente para refletir em alteração no solo (Figura 1 C).

Figura 1 - Resistência do solo à penetração (RP) em abril de 2018, após cultivo de milho, em decorrência dos fatores escarificação (A), mecanismo de sulcamento (B) e plantas de cobertura (C). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. ^{ns} e * não há e há diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

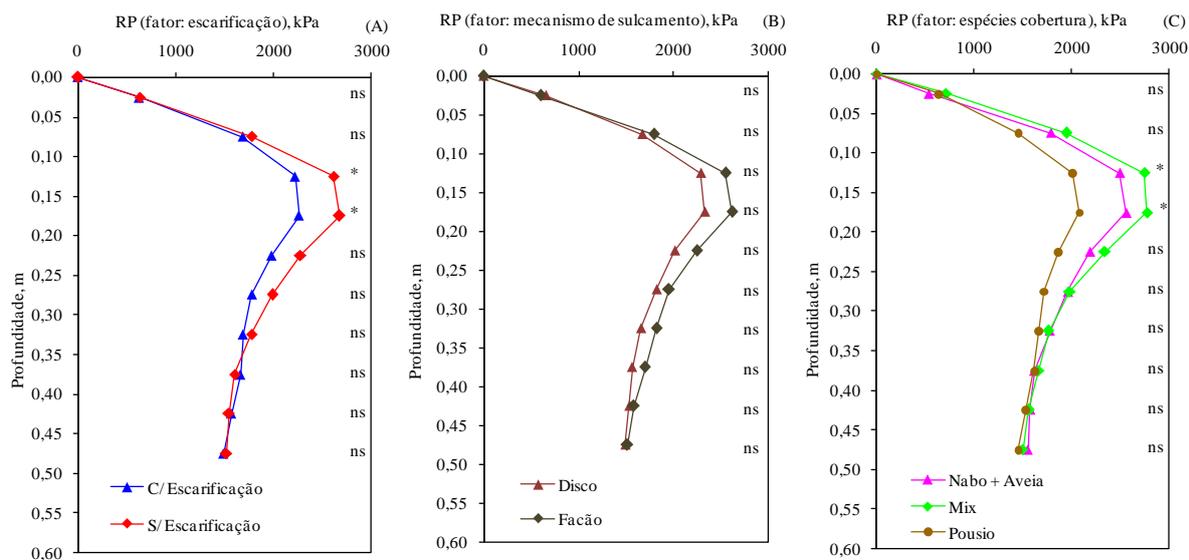


Fonte: Autores.

De maneira geral é importante observar que os resultados encontrados para RP na Figura 2, mostram que houve redução de RP, mesmo após 16 meses do processo de escarificação (Figura 2A), com diferença significativa nas camadas de 0,10-0,15m e 0,15-0,20m em relação ao tratamento sem escarificação. Para os fatores mecanismos de sulcamento, apesar de observar menor RP para o fator disco, não houve diferença entre haste sulcadora (Figura 2B), provavelmente por ter sido realizado cultivo de adubos verdes com discos a 0,17m de espaçamento, atuando diretamente na camada superficial, local que ocorre deslocamento dos rodados, além da ocorrência de reestruturação do solo com frentes de umedecimento e secagem. Para o fator plantas de cobertura (Figura 2C) observa diferença

significativa nas camadas de 0,10-0,15m e 0,15-0,20m, em que o tratamento pousio apresentou a menor RP, provavelmente devido ausência de raízes no solo no pousio.

Figura 2 - Resistência do solo à penetração (RP) em outubro de 2018, após cultivo de adubos verde, em decorrência dos fatores escarificação (A), mecanismo de sulcamento (B) e plantas de cobertura (C). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. ^{ns} e * não há e há diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autores.

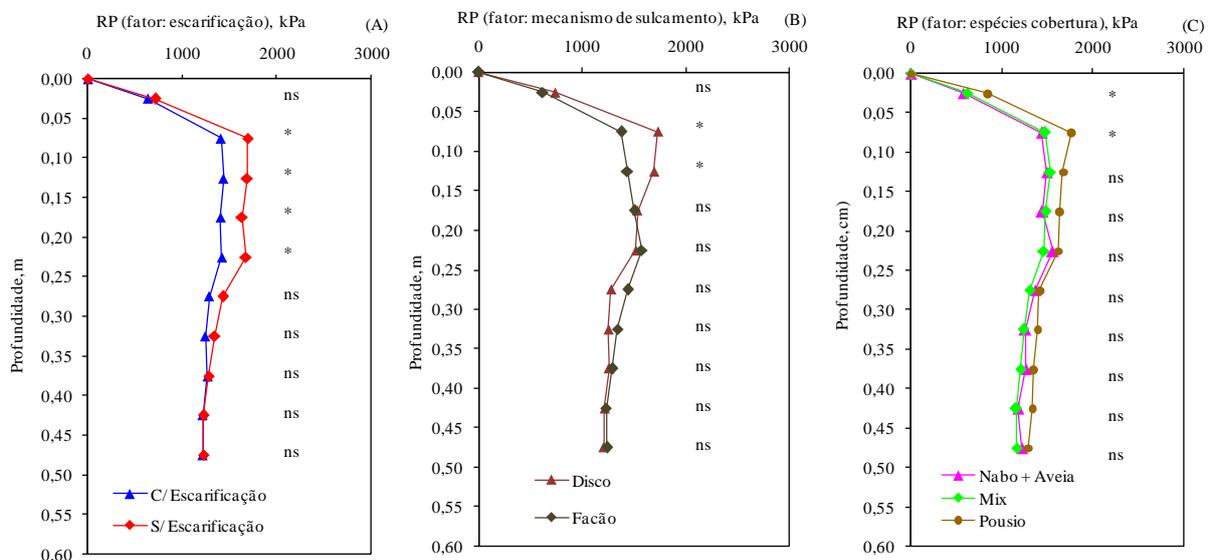
Esses resultados são importantes, para identificar as diferenças que ocorre no solo ao logo do tempo, pois, caso seja realizado avaliação em apenas um momento, pode gerar confusão. Contudo, experimento de média e longa duração, permitem compreender que a atuação do sistema radicular das raízes (Suzuki et al., 2008), com crescimento em profundidade e espessura resultam em pressão no solo, refletindo em elevação da resistência do solo a penetração, com redução de macroporos (Chen & Wagenet, 1992).

De maneira geral é importante observar que os resultados encontrados para RP na Figura 3, mostram que houve redução de RP 22 meses após o processo de escarificação (Figura 3A), com diferença significativa nas camadas de 0,05-0,10m, 0,10-0,15m e 0,15-0,20m e 0,20-0,25m em relação aos tratamentos sem escarificação. Para os fatores mecanismos de sulcamento, observa diferença significativa nas camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,15m, com menor RP para os tratamentos de haste sulcadora (Figura 3B). Para o fator plantas de cobertura (Figura 3C) observa diferença significativa nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10m, em que o pousio apresentou a maior RP, pois, não tem raízes de plantas de

cobertura em decomposição, e, neste momento foi possível constatar a vantagem de utilizar estas espécies no outono ou inverno.

Foi possível observar que onde a área foi submetida a operação de escarificação, a RP não superou o valor de 1500 KPa, sendo que os tratamentos não apresentaram valores significativos após 0,25m de profundidade. Sobretudo, reforça que o manejo adequado com plantas de cobertura permitem manter os efeitos da escarificação (Klein, 2012), diferente do constatado com o pousio, que apresenta valores de RP significativamente diferente na camada de 0,05-0,10 m de profundidade, tendo menores valores para as áreas cultivadas com aveia + nabo ou mix de culturas. Ou seja, mesmo com a reestruturação do solo (Busscher et al., 2002), a atuação de das plantas, mais especificamente das raízes atuando no solo, permitem ampliar a estruturação do solo, promovendo maior aeração.

Figura 3 - Resistência do solo à penetração (RP) em abril de 2019, após cultivo de soja, em decorrência dos fatores escarificação (A), mecanismo de sulcamento (B) e plantas de cobertura (C). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. ^{ns} e * não há e há diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Autores.

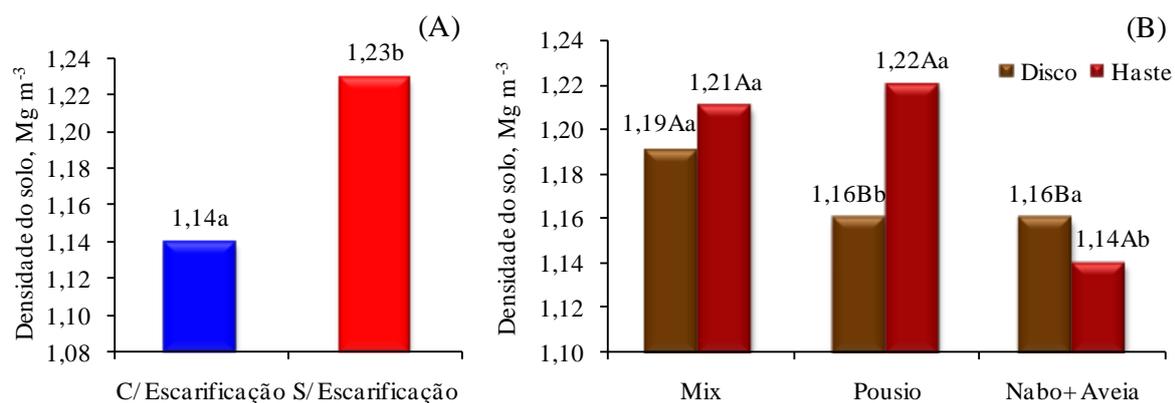
A RP em decorrência do fator mecanismo de sulcamento, apresentou menor valor com a utilização de haste sulcadora até a profundidade de 0,15m. Com efeito da escarificação, minimizam a possibilidade de observar o efeito da atuação de sulcador na linha de semeadura. Sobretudo, a atuação por dois anos de haste sulcadora, tanto no cultivo do milho quanto de

soja permitiram observar redução da RP nas camadas de 0,05-0,15m de profundidade (Figura 3B).

Consequentemente, não houve limitação na camada superficial do solo, que, ao constatar camada compactada, tem-se redução nas trocas gasosas, menor absorção de nutrientes e, menor infiltração e redistribuição de água (Pinheiro et al., 2009). A ausência de interferência pode ser relacionada ao tráfego com máquinas mais leves durante as operações realizadas na área. Tanto que Oliveira et al. (2019) detectaram redução da produtividade das culturas manejadas em Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto devido a ocorrência de compactação nas camadas superficiais. Segundo Souza et al. (2018), a ocorrência de tráfego intenso eleva a resistência a penetração na camada de 0,10-0,20 m de profundidade na linha de tráfego, mantendo adequado os locais não trafegados.

Os resultados encontrados para Ds na camada de 0-0,10 m de profundidade na Figura 4, 16 meses após escarificação e pós plantas de cobertura, mostra redução de Ds após o processo de escarificação (Figura 4A), com diferença significativa para sem escarificação.

Figura 4 - Densidade do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de plantas de cobertura em 2018 em decorrência dos fatores com e sem escarificação (A) e mecanismos de sulcamento e plantas de cobertura (B). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. *Tratamentos seguidos de mesma letra maiúsculas não diferem entre si para o fator adubação verde; tratamentos seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si para o fator mecanismos de sulcamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



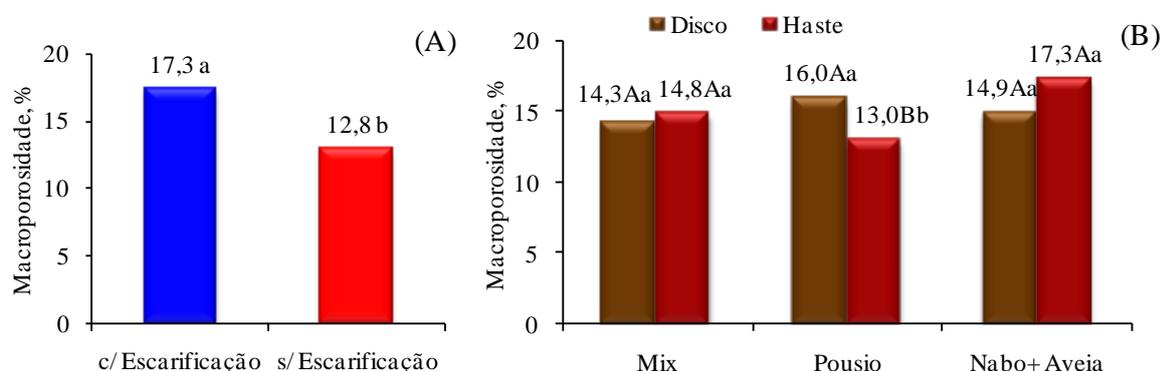
Fonte: Autores.

Para os fatores mecanismos de sulcamento observa-se diferença significativa nos tratamentos pousio e nabo + aveia, com menor Ds para o tratamento disco no pousio e haste sulcadora no tratamento nabo + aveia (B). Para o fator plantas de cobertura observa diferença

significativa entre os tratamentos, tendo o pousio com haste sulcadora a maior Ds. Foi verificado menor Ds na utilização de nabo e aveia, independente do mecanismo de sulcamento utilizado na operação de semeadura (Figura 4B). Uma possibilidade de ocorrer maior Ds no pousio com haste, é devido a haste empurrar a lateral do solo, comprimindo as partículas, já a presença das plantas de cobertura, impede esta ação.

De maneira geral é importante observar que os resultados encontrados para macro na camada de 0-0,10 m de profundidade (Figura 5), mostram que o tratamento que foi realizada a escarificação apresentou maior volume quando comparado ao tratamento sem escarificação (Figura 5A).

Figura 5 - Macroporosidade na camada de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de plantas de cobertura em 2018 em decorrência dos fatores com e sem escarificação (A) e mecanismos de sulcamento e plantas de cobertura (B). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. *Tratamentos seguidos de mesma letra maiúsculas não diferem entre si para o fator plantas de cobertura; tratamentos seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si para fator sulcamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



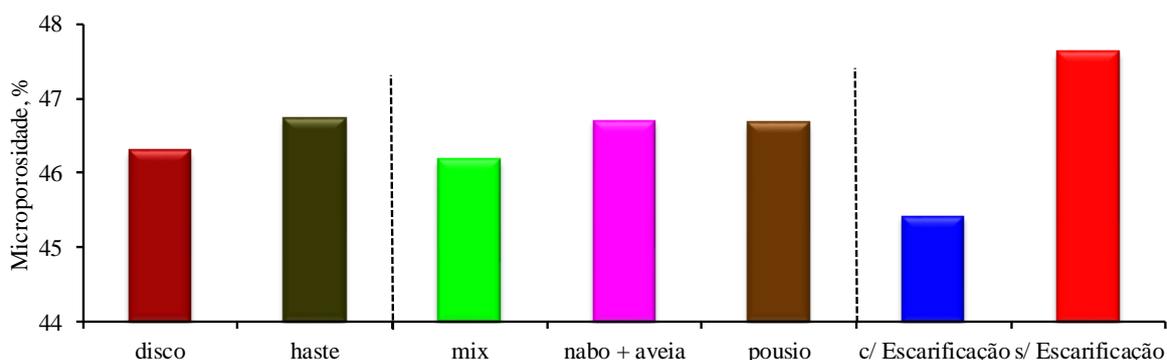
Fonte: Autores.

Foi observado interação para o mecanismo de sulcamento e plantas de cobertura para macroporosidade na camada de 0-0,10 m de profundidade (Figura 5 B). Nota-se que a macro foi alterada pelo mecanismo de sulcamento foi haste no pousio. É possível notar que quando não utilizada a planta de cobertura, e deixada a área em pousio, na situação de uso da haste no momento de semeadura, apresentou menor macro que uso de disco duplo. Para consórcio de duas espécies vegetais de diferentes famílias (aveia e nabo), houve influência na quantidade de macroporos presentes na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, corroborando com Nicoloso et al. (2008). De fato, a ausência de plantas na área reduz a atuação de raízes no

solo, refletindo em menor porosidade no solo, devido a menor decomposição de raízes, conforme reforça alguns autores, que em solos compactados, ocorre redução do desenvolvimento de raízes (Reichert et al., 2009).

É importante observar que os resultados encontrados para micro na camada de 0-0,10 m de profundidade (Figura 6), para disco duplo e haste, nabo+aveia, mix e pousio, e com e sem escarificação apresentaram valores semelhantes até 22 meses com atuação destes manejos em SSD (Figura 6). A influência na porosidade independente de manejo, sendo necessário mais tempo de atuação no solo (Klein, 2012), tanto que a porosidade total mantém-se inalterada no solo, mesmo em casos que ocorre alteração de macro e microporosidade.

Figura 6 – Microporosidade na camada de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de plantas de cobertura em 2018 em decorrência dos fatores escarificação, mecanismo de sulcamento e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.



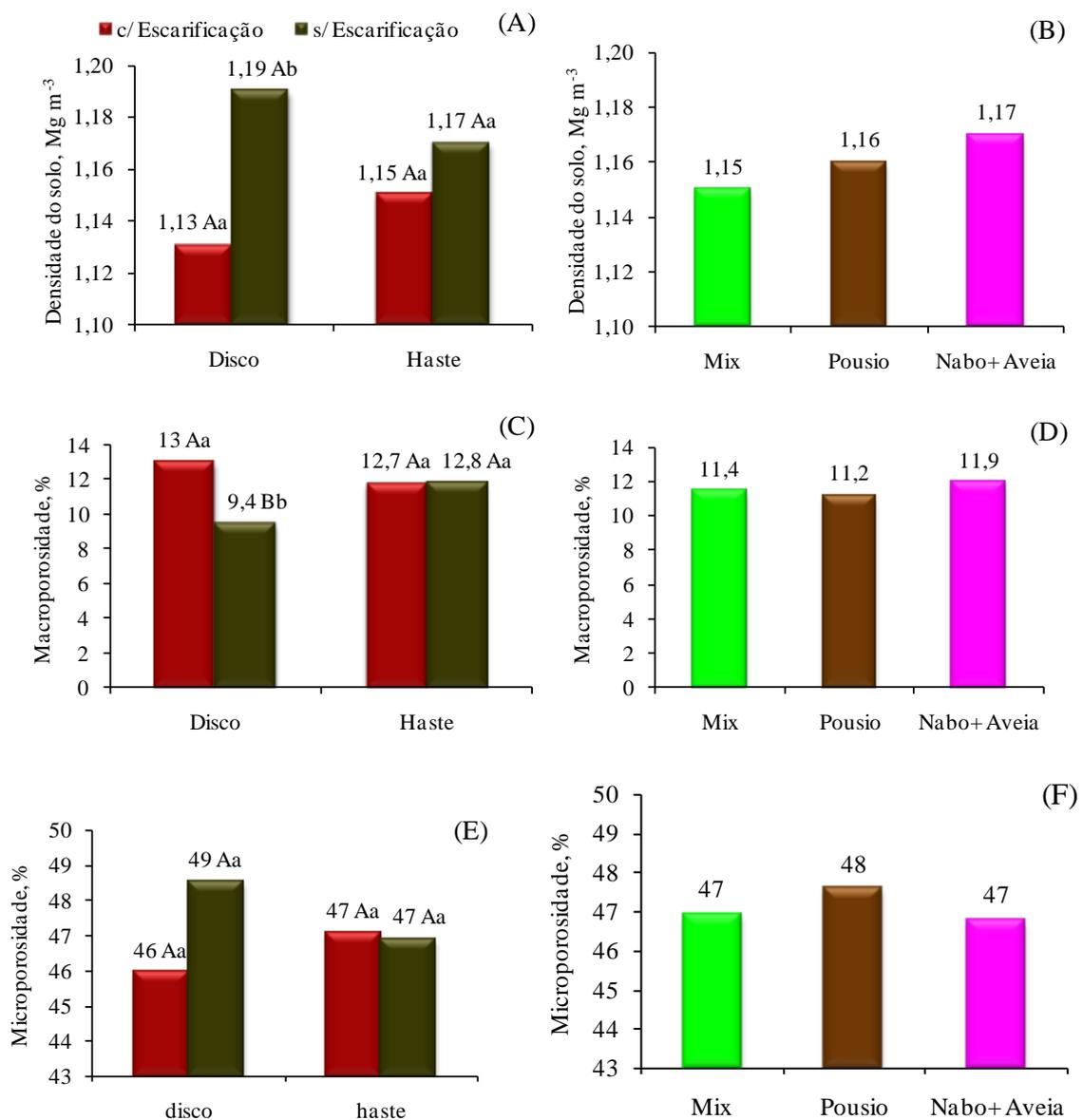
Fonte: Autores.

De maneira geral é importante observar que os resultados encontrados para Ds (Figura 7A e B), macro (Figura 7B e C) e micro (Figura 7E e F) na camada de 0,10-0,20m de profundidade 16 meses após escarificação pós plantas de cobertura (Figura 7), nota-se que o tratamento sem escarificação com utilização de disco duplo apresentou maior Ds (Figura 7 Figura 7A) e menor macro (C), fato que reforça a atuação da escarificação principalmente quanto se utiliza disco duplo, enquanto o uso de haste sulcadora já minimiza a Ds.

Em relação as plantas de cobertura, não houve diferença para Ds (Figura 7B), macro (Figura 7D) e micro (Figura 7F). É possível verificar a menor atuação do manejo de haste sulcadora e plantas de cobertura nesta primeira avaliação, momento em as plantas estão no final do ciclo com sistema radicular bem atuante, assim como, neste momento houve apenas único deslocamento de semeadora com haste sulcadora. Mendonça et al. (2013) estudando atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em rotação com soja, encontrou

valores de macro maiores após a colheita da soja, pois neste período, as raízes das forrageiras estavam em estágio de decomposição mais avançado devido ao tempo. Em um trabalho realizado por Drescher et al. (2016) avaliando os atributos físico-hídricos em um Latossolo argiloso em 0, 6, 12, 18, 24, 30 e 36 meses depois da realização de escarificação mecânica em SSD, observaram alterações na densidade do solo e macroporosidade do solo em uma safra agrícola.

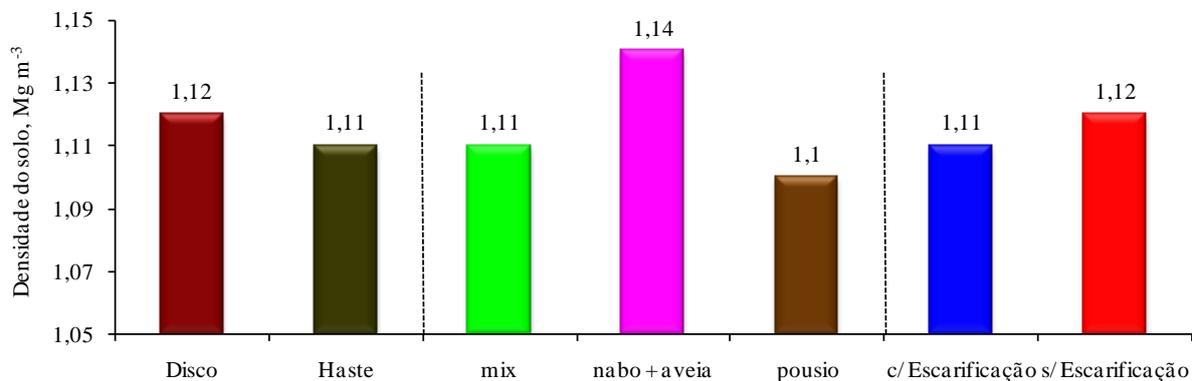
Figura 7. Densidade do solo (A e B), Macroporosidade (C e D) e microporosidade (E e F) na camada de 0,10-0,20 m de profundidade após cultivo de plantas de cobertura em 2018 em decorrência do fator escarificação, mecanismo de sulcamento e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.



Fonte: Autores.

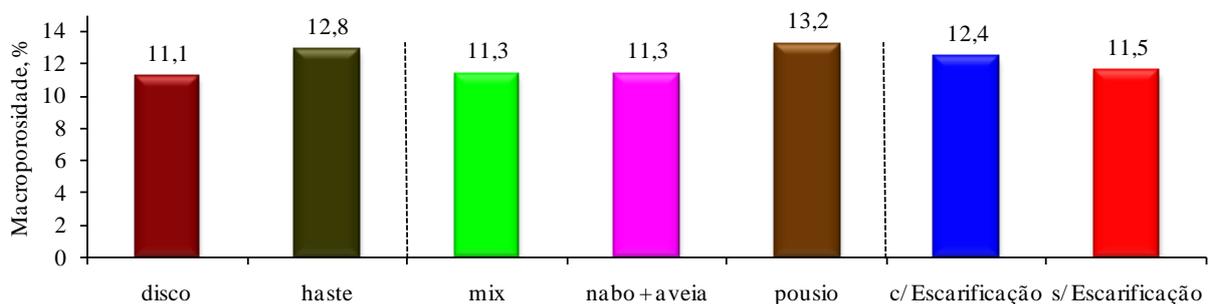
Para a Ds na camada de 0-0,10 m de profundidade, em abril de 2019, 22 meses após escarificação (Figura 8), observa que os tratamentos com disco, nabo + aveia e sem escarificação, apresentaram valores ligeiramente mais altos, porém sem diferença significativa entre os tratamentos do respectivo fator. Para macro na camada de 0-0,10 m de profundidade (Figura 9), os tratamentos com haste sulcadora, pousio e com escarificação se destacaram.

Figura 8 - Densidade do solo de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de soja em 2018/19 em decorrência do fator escarificação, mecanismo de sulcamento e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.



Fonte: Autores.

Figura 9 - Macroporosidade do solo de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de soja em 2018/19 em decorrência do fator escarificação, mecanismo de sulcamento e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.

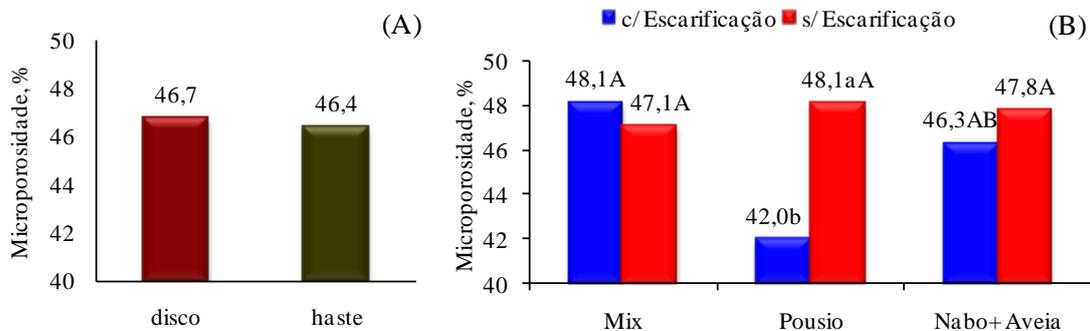


Fonte: Autores.

Após 22 meses de escarificação, para micro na camada de 0-0,10 m de profundidade, observa que os valores foram mais elevados para disco duplo no fator mecanismo de sulcamento (Figura 10A). Observou valores foram mais elevados no pousio em área sem

escarificação que área escarificada (Figura 10B). Tal fato demonstra que a escarificação, na ausência de raízes de plantas de cobertura reduzem a micro, que ao longo do tempo pode trazer prejuízos ao solo, como redução da infiltração de água. Com este resultado, tem-se limitação do solo, com redução nas trocas gasosas, menor absorção de nutrientes e, menor infiltração e redistribuição de água (Pinheiro et al., 2009).

Figura 10 - Microporosidade na camada de 0-0,10 m de profundidade após cultivo de soja em 2018/19 em decorrência dos fatores mecanismo de sulcamento (A), escarificação e plantas de cobertura (B). UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019. *Tratamentos seguidos de mesma letra maiúsculas não diferem entre si para o fator plantas de cobertura; tratamentos seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si para fator escarificação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



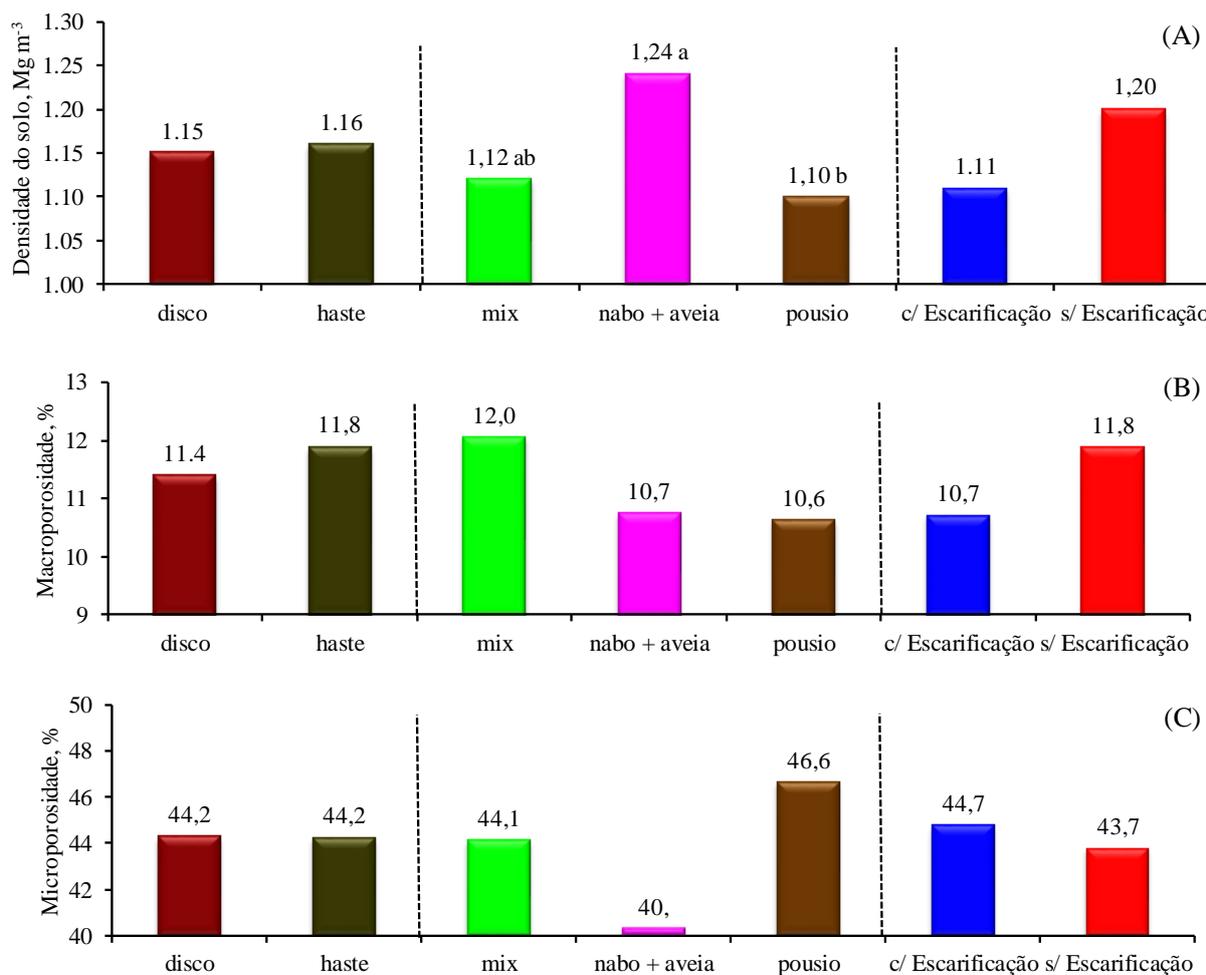
Fonte: Autores.

Em relação a D_s (Figura 11A), macro (Figura 11B) e micro (Figura 11C) na camada de 0,10-0,20m de profundidade em decorrência do fatores escarificação, mecanismos de sulcamento e plantas de cobertura, é importante observar que não foi observada diferença significativa para nenhum dos fatores para essas variáveis após 22 meses de condução do trabalho.

Estes resultados vêm a se somar aos resultados já comentados da primeira avaliação (16 meses após escarificação), em que foi detectado menor intensidade do efeito com manejo mecânico e plantas de cobertura na camada de 0,10-0,20 m de profundidade. Tanto que estudos evidenciam que 0,10-0,20 m de profundidade é a camada mais compactada, ou seja, é necessário manejo eficiente para alterá-la e mantê-la favorável ao desenvolvimento das plantas. Estudos apontam que a camada mais compactada em áreas de SSD se localiza mais precisamente entre as profundidades de 0,08 e 0,15 m, quando comparada com a camada

superficial (0-0,05 m), que tem menor densidade e elevada porosidade total (Genro Junior et al., 2004).

Figura 11 - Densidade do solo (A), macroporosidade (B) e microporosidade (C) na camada de 0,10-0,20m de profundidade após cultivo de soja em 2018/19 em decorrência dos fatores escarificação, mecanismos de sulcamento e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.



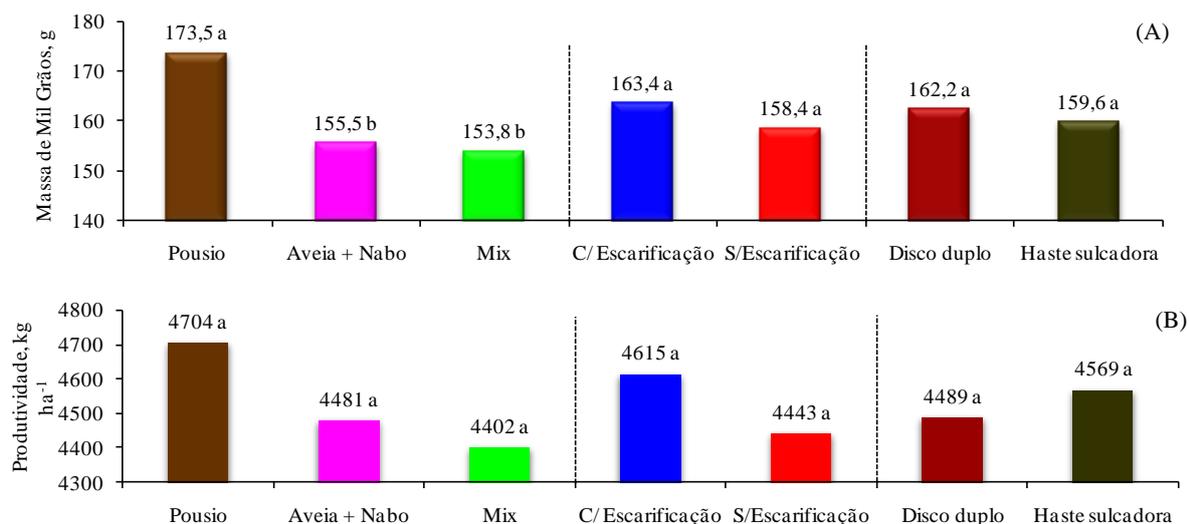
Fonte: Autores.

Para a massa de mil grãos foi detectado valor superior para o pousio e menor para as plantas de cobertura (Figura 12A), provavelmente por aumentar o ciclo das plantas de soja cultivadas na palhada das plantas de cobertura. Conseqüentemente, as plantas apresentaram maior vigor, e demandaram maior atuação com fungicidas para manejo fitossanitário.

Em relação a produtividade de grãos da cultura da soja (Figura 12B), é importante observar que a maior produtividade foi observada no tratamento pousio e o menor no tratamento mix de plantas de cobertura, apesar de não observar diferença significativa entre os

tratamentos. Drescher et al. (2012) e Secco et al. (2009) também não observaram diferença significativa no crescimento radicular e rendimento de soja em SSD escarificado em comparação com em SSD contínuo.

Figura 12 – Massa de mil grãos e produtividade de grãos da cultura da soja na safra 2018/19 em decorrência dos fatores escarificação, mecanismos de sulcamento, e plantas de cobertura. UNICENTRO, Guarapuava, PR, 2019.



Fonte: Autores.

Apesar de não observar diferença significativa entre os mecanismos de sulcamento, nota-se maior produtividade de soja com o mecanismo de haste sulcadora (Figura 12B). Esses resultados podem estar associados ao fato de que muitas vezes o disco duplo compacta o local onde foi alocada a semente, dificultando a absorção de água pela e também em solos argilosos. A utilização de disco duplo pode ser dificultada pela grande resistência nesses solos, fazendo com que os discos não consigam aprofundar e as sementes são alojadas em reduzida profundidade e próxima dos fertilizantes. Já em hastes sulcadoras, promovem melhor o rompimento do solo, atingindo maiores profundidades, o que possibilita a quebra da camada compactada, favorecendo o crescimento das raízes (Reis et al., 2006). Modolo et al. (2004) indicam que hastes sulcadoras apresentam menor variação na profundidade média de deposição das sementes em comparação com discos duplos. Em todo caso, trabalho realizado em diferentes sistemas de manejo, foi detectado que o uso de disco duplo defasado foi superior a haste sulcadora para proporcionar distribuição das sementes, obtendo melhor espaçamento aceitáveis entre plantas de milho (Rinaldi et al., 2019). Müller et al. (2019) constatam que a mobilização no sulco de semeadura com diferentes profundidades de haste

sulcadora não interferiu na produtividade da cultura de milho, não procedendo como medida necessária para Latossolo Vermelho. Spliethoff et al. (2019) observaram superioridade na altura de inserção de espiga e na produtividade de milho semeado com disco duplo no sistema de sulcamento em Latossolo Bruno.

A atuação com manejos diversos, tanto mecânico, como escarificação ou uso de haste sulcadora ou manejo biológico com plantas de cobertura são importantes para romper camadas compactadas, aumentando a infiltração de água no solo, reduzindo erosão, sobretudo, necessita-se de atuar continuamente e em conjunto para obter resultados na produtividade das culturas.

Tanto que a melhoria do sistema solo pode favorecer o desenvolvimento da cultura da soja, principalmente com a atuação de planta de cobertura. A redução de Ds e maior volume de macroporosidade no solo favorecem o desenvolvimento radicular e melhoram a infiltração de água e difusão de oxigênio no solo, melhorando a qualidade do solo e o rendimento das culturas (Calonego et al., 2017, Pott et al., 2018).

De maneira geral, os resultados mostram que a adoção de vários manejos (mecânico e biológico) sucessivamente no solo são importantes para romper camadas compactadas, melhorar os atributos físicos do solo e conseqüentemente alteram nas plantas, necessitando de maior atenção para refletir positivamente na produtividade de soja. Nota-se que a escarificação e o mecanismo de sulcamento do tipo hastes sulcadoras, promovem melhor o rompimento do solo, possibilitando a quebra da camada compactada e favorecendo o crescimento das raízes e produtividade de soja. Para Pott et al. (2019) é necessário integrar duas ou três estratégias de descompactação para melhorar os atributos físicos do solo, sendo superior ao uso de estratégias isoladas. Em sistemas de cultivo de baixa fertilidade o uso de rompedores mecânicos + plantas de cobertura + gesso agrícola promoveram elevação da produtividade de soja, enquanto em sistemas de cultivo de alta fertilidade o uso de plantas de cobertura + gesso agrícola foi suficiente para promover elevação da produtividade de soja (Pott et al., 2019).

4. Considerações Finais

A resistência a penetração após 22 meses de escarificação evidenciou redução da compactação do solo, refletindo atuação em conjunto com os adubos verdes.

Haste sulcadora é uma alternativa viável para reduzir a resistência a penetração na camada de 0,05-0,15m de profundidade.

O cultivo de nabo + aveia ou mix de culturas permitiu reduzir a resistência a penetração durante o ciclo das culturas comerciais instaladas na sequência.

Os atributos físicos do solo detectaram alterações no solo na camada de 0-0,10m de profundidade devido a atuação das plantas de cobertura, com maior macroporosidade, assim como menor densidade do solo após 16 meses da escarificação e após o cultivo de plantas de cobertura.

Os atributos físicos do solo não detectaram alterações na camada de 0-0,10m e 0,10-0,20m de profundidade após cultivo de soja, 22 meses após a escarificação.

A escarificação, adubos verdes e o uso de haste sulcadora não proporcionou alteração significativa na produtividade da cultura da soja em Latossolo Bruno.

Nesse estudo ficou evidente os efeitos positivos da adoção de mais de um método de manejo (mecânico e biológico), que possui capacidade de alterar a estrutura física do solo, modificando os atributos físicos, como menor densidade do solo e resistência a penetração, e maior macroporosidade, aprimorando a qualidade do solo, com reduzida interferência na produtividade de soja até o momento.

Neste contexto, é importante estudos de longa duração que visem estudar os efeitos de diferentes manejos sobre solo e sobre a produtividade das culturas, assim como sua persistência em relação ao tempo após sua adoção.

5. Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Fundação Araucária (Fundação Araucária de Apoio Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná), pelo apoio financeiro.

Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. D. M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

An, J., Zhang, Y. & Yu, N. (2015). Quantifying the effect of soil physical properties on the compressive characteristics of two arable soils using uniaxial compression tests. *Soil and Tillage Research*, 145: 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.09.002>

Borges, W. L. B., Freitas, R. S., Mateus, G. P., Sá, M. E., & Alves, M. C. (2015). Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. *Ciência Rural*, 45(5): 799-805. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131018>

Busscher, W. J., Bauer, P. J., & Frederick, J. R. (2002). Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. *Soil Tillage Research*, 68: 49-57. doi: 10.1016/S0167-1987(02)00083-1

Calonego, J. C., Raphael, J. P. A., Rigon, J. P. G., De Oliveira Neto, L., & Rosolem, C. A. (2017). Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, 85: 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>

Camara, R. K. & Klein, V. A. (2005). Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. *Ciência Rural*, 35: 813-819. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000400010>

Chen, C. & Wagenet, R. J. (1992). Simulations of water and chemicals in macropore soil. Part 1. Representation of the equivalent macropore influence and its affect on soil waterflow. *Journal of Hydrology*, 130. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90106-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90106-6)

Colombi T. & Keller T. (2019) Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction - A plant eco-physiological perspective. *Soil and Tillage Research*, 191: 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.008>

Dias, C. (2014). Simplificação do Plantio Direto reduz eficiência da lavoura. Acesso em: 18 de dezembro de 2019, em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1909275/simplificacao-do-plantio-direto-reduz-eficiencia-da-lavoura>

Drescher, M. S., Eltz, F. L. F., Denardin, J. E., Faganello, A., & Drescher, G. L. (2012). Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo vermelho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(6): 1836-1844. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000600018>

Drescher, M. S., Reinert, D. J., Denardin, J. E., Gubiani, P. I., Faganello, A., & Drescher, G. L. (2016). Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(2): 159-168. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 356 p.

Embrapa. (2011). *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230p.

Ferreira, D. F. (1998). *Sisvar - sistema de análise de variância para dados balanceados*. Lavras: UFLA, 1998.

Genro Junior, A. S., Reinert, D. J. & Reichert, J. M. (2004). Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 477-484. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300009>

Klein, V. A. (2012). *Física do solo*. 2. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo.

Kassam, A., Friedrich, T.; Derpsch, R. & Kienzle, J. (2015). Overview of the Worldwide Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports*, 8: 1-12. <http://journals.openedition.org/factsreports/3966>

Medeiros, A., Câmara Júnior, C., Pereira, J., Oliveira, F., & Amaro Filho, J. (2015). Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio odometrico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10(3): 09-22. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i3.2895>

Mendonça, V. Z., Mello, L. M. M., Andreotti, M., Pereira, F. C. B. L., Lima, R. C., Valério Filho, W. V. & Yano, E. H. (2013). Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37: 251-259. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100026>

Modolo, A. J., Silva, S. L., Silveira, J. C. M. & Mercante, E. (2004). Avaliação do desempenho de duas semeadoras adubadoras de precisão em diferentes velocidades. *Engenharia na Agricultura*, 12(3): 563-567.

Moraes, M. T. D., Debiase, H, Franchini, J. C., Mastroberti, A. A., Levien, R., Leitner, D. & Schnepf, A. (2020). Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. *Soil and Tillage Research*, 200: 104611. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104611>

Müller, J., Modolo, A. J., Trentin, R. G., Campos, J. R. R. & Baesso, M. M. (2019). Tractive demand, soil mobilization parameters, and corn yield in compacted Oxisol. *Engenharia Agrícola*, 39(1): 89-96. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n1p89-96/2019>

Nicoloso, R. S., Amado, T. J. C., Schneider, S., LanzaNova, M. E., Girardello, V., Bragagnolo, J. & Girardello, R. (2008). 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*, 32(6): 1723-1734. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037>

Nolla, A., Jucksh, I., Castaldo, J. H., Alvarenga, R. C., Costa, L. M., Damy, C. R. S. & Mota Neto, L. V. (2019). Soil coverage, phytomass production and, nutrient accumulation in maize and legumes intercropping system. *Australian Journal of Crop Science*, 13(03): 328-334. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p633>

Nunes, M. R., Pauletto, E. A., Denardin, J. E., Faganello, A., Spinelli Pinto, L. F. & Scheunemann, T. (2014). Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49: 531-539.

Oliveira, P. R., Centuron, J. F., Almeida, C. X., Pereira, A. P. F. S. & Centurion, M. A. P. C. (2019). Physical properties of Oxisol under conventional corn cultivation and no-till management systems. *Australian Journal of Crop Science*, 13(03): 403-411. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1323>

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica* (1ª ed, Vol. 1). Santa Maria, RS: UFSM, NTE.

Pinheiro, A., Teixeira, L. P., & Kaufmann, V. (2009). Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Revista Ambiente e Água*, 4: 188- 199. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>

Pott, L. P., Amado, T. J. C., Leal, O. A. & Ciampitti, I. A. (2019). Mitigation of soil compaction for boosting crop productivity at varying yield environments in southern Brazil. *European Journal of Soil Science*, e12880: 1–16. <https://doi.org/10.1111/ejss.12880>

Pott, C. A., Baretta Junior, E.; Müller, M. M. L.; Genú, A. M.; Sandini, I. E. & Kramer, L. F. M. (2018). Qualidade física do solo e produtividade da cultura do feijoeiro em sistema de integração agricultura-pecuária. *Acta Iguazu*, 7(3): 85-98.

Reichert, J. M., Suzuki, L. E. A. S., Reinert, D. J., Horn, R. & Håkansson, I. (2009). Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Tillage Research*, 102: 242-254. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

Reis, E. F., Schaefer, C. E. G. R., Fernandes, H. C., Naime, J. M. & Araújo E F. (2006). Densidade do solo no ambiente solo-semente e velocidade de emergência em sistema de semeadura de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(5): 777-786. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500003>

Rinaldi, P. C. N., Alvarenga, C. B., Zampiroli, R., Ribeiro, W. S. & Fernandes, H. C. (2019). Estabelecimento inicial da cultura do milho em função da velocidade de trabalho e dos mecanismos sulcadores da semeadora. *Acta Iguazu*, 8(1): 23-31.

Salomão, P. E. A., Kriebel, W., Santos, A. A. D. & Martins, A. C. E. (2020). The Importance of Straw No-Tillage System for Soil Restructuring and Organic Matter Restoration. *Research, Society and Development*, 9(1): e154911870. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1870>

Secco, D., Reinert, D. J., Reichert, J. M., & Silva, V. R. (2009). Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Ciência Rural*, 39(1): 58-64. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000100010>

Silva, A. J. N. D. & Cabeda, M. S. V. (2006). Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 921-930. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600001>

Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S. G., & Nowatzki, J. (2018). Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. *Soil and Tillage Research*, 175: 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>

Souza, W. J. O., Rozane, D. E., Souza, H. A., Natale, W., Santos, P. A. F. (2018). Machine traffic and soil penetration resistance in guava tree orchards. *Revista Caatinga*, 31(4): 980-986. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n421rc>

Spliethoff, J., Rampim, L. & Pott, C. A. (2019). Performance of cover and corn plants in different mechanical and biological management associations. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14(4):e6655. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v14i4a6655>

Spliethoff, J., Pott, C. A., Rampim, L., Watzlawick, L. F. & Jadoski, S. O. (2020). Soil compaction limits for *Ilex paraguariensis*. *Research, Society and Development*, 9(5): e23953101. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i53101>

Stone, A. J., Guimarães, C. M. & Moreira, J. A. A. (2002). Compactação do solo na cultura do feijoeiro -1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(2): 207-212. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200004>

Suzuki, L. E. A. S., Reinert, D. J., Reichert, J. M. & Lima, C. L. R. (2008). Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, 32(3), 963-973. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300006>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Leandro Rampim – 25%

Cristiano André Pott – 25%

Antonio Junior Deubatei Volanin – 10%

Jhonatan Spliethoff – 10%

Edson Lucas Camilo – 5%

Marcelo Luiz Camilo – 5%

Aline Mariele Czekalski Conrado – 5%

Caio Ericles Kolling – 5%

Perivaldo Mateus Conrado – 5%

Ernani Garcia Neto – 5%