

Escarificação do solo e plantas de cobertura de inverno em área de plantio direto

Soil scarification and winter cover crops in no-till area

Aline Marieli Czeralski Conrado¹, Leandro Rampim², Marco Segalla Prazeres³, Cristiano André Pott⁴, Perivaldo Mateus Conrado¹, Danilo Oliveira de Castro Lima⁵

RESUMO: A mobilização do solo restrita a linha de semeadura em área sob sistema de plantio direto (SPD) promove a reagregação e rearranjo da estrutura causando aumento da densidade do solo pelo tráfego de máquinas. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da escarificação associada ao uso de plantas de cobertura nos atributos físicos de um Latossolo Bruno em área de plantio direto. O estudo foi implantado em julho de 2017, ano que foi realizada a escarificação e semeadura do primeiro ciclo de plantas de cobertura. Os tratamentos foram formados por dois sistemas de manejo do solo: com escarificação e sem escarificação; e três combinações de plantas de cobertura: pousio (PO), nabo + aveia (NA) e mistura de plantas de cobertura (MX). Em três períodos foram determinadas a porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e densidade do solo (Ds) em camadas diferentes. Aos vinte oito meses, o PO escarificado preservou maior volume de Pt e Ma na camada de 0,10-0,20 m de profundidade em relação ao nabo + aveia. Aos trinta e três meses, a escarificação manteve maior Ma na camada de 0,20-0,30 m de profundidade e no pousio escarificado na camada de 0,30-0,40 m em relação à nabo + aveia. Não existe efeito duradouro da escarificação do solo após quarenta meses, mas a mistura de plantas de cobertura promove aumento da Pt e redução da Ds restrito entre a camada de 0,10-0,20 m de profundidade.

Palavras-chave: Compactação do solo; Pousio; Manejo do solo.

ABSTRACT: Soil tillage restricted to the sowing line in area under no-till farming (NTF) promotes reaggregation and rearrangement of the structure, causing an increase in soil bulk density due to machine traffic. The objective of the research was to evaluate the effect of scarification associated with the use of cover crops on the physical attributes of an Oxisol in no-till area. The study was carried out in July 2017, the year in which the first cycle of cover crops was scarified and sown. The treatments consisted of two soil management systems: with scarification and without scarification; and three combinations of cover crops: fallow (FO), turnip + oats (TO) and mixture of cover crops (MX). In three periods, total porosity (Tp), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and soil density (Sd) were determined in different layers. At thirty-three months, scarification maintained higher Ma in the 0.20-0.30 m layer depth and in the scarified PO in the 0.30-0.40 m layer depth compared to turnip + oats. There is no long-lasting effect of soil scarification after forty months, but the cover crop mixture promotes an increase in Pt and a reduction in Ds specifically in the 0.10-0.20 m layer depth.

Keywords: Soil compaction; Fallow; Soil Management.

Autor correspondente: Marco Segalla Prazeres
E-mail: marcossegalla@hotmail.com

Recebido em: 2023-09-22
Aceito em: 2024-04-16

¹ Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Guarapuava (PR), Brasil.

² Doutor em Agronomia. Professor Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Guarapuava (PR), Brasil.

³ Doutor em Ciência do Solo. Professor Colaborador no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina (PR), Brasil.

⁴ Doutor em Ciências Agrárias. Professor Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Guarapuava (PR), Brasil.

⁵ Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, Brasil.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo interfere negativamente na qualidade física do solo (Bareta Junior *et al.*, 2021), limitando o desenvolvimento vegetal (Gomes Júnior *et al.*, 2023). Isso ocorre em áreas conduzidas sob plantio direto (Bareta Junior *et al.*, 2022), com intenso tráfego de máquinas agrícolas (Ferreira *et al.*, 2021), manejo inadequado da cobertura do solo e ausência de rotação de culturas.

O solo compactado impede o desenvolvimento radicular (Reichert *et al.*, 2009), reduz o desenvolvimento da parte aérea (Moraes *et al.*, 2020), e resulta em queda de produtividade das culturas (Trentin *et al.*, 2018). No entanto, essa limitação pode ser corrigida com a escarificação mecânica do solo (Rampim *et al.*, 2020; Prazeres *et al.*, 2020). O preparo do solo com escarificador é considerado conservacionista, pois há baixo grau de mobilização do solo, que mantém parte dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo (Colet *et al.*, 2009).

Em Latossolo Bruno de textura muito argilosa, a escarificação do solo promove aumento imediato da macroporosidade (Ma) e redução da densidade do solo (Ds) (Rampim *et al.*, 2020). Prazeres *et al.* (2020) constataram aumento da Ma e redução da Ds na camada de 0-0,05 m de profundidade em Cambissolo Húmico após o solo ser escarificado, no entanto os efeitos da escarificação persistiram por apenas doze meses para maioria dos atributos físicos do solo.

O efeito da escarificação nos atributos físicos do solo apresenta determinada duração e depende dos processos em andamento. Alguns autores questionam os efeitos de curta duração desta prática como método para eliminar a compactação do solo (Nunes *et al.*, 2015; Sustakowski *et al.*, 2020), pois o solo se reconsolida, retornando em pouco tempo à condição existente antes da escarificação (Calonego *et al.*, 2017). Por isso, as plantas de cobertura no inverno podem ser usadas como medidas alternativas sustentáveis para minimizar problemas de compactação do solo de maneira prolongada (Spliethoff *et al.*, 2019; Rampim *et al.*, 2020).

O estudo isolado da escarificação, o uso do nabo forrageiro e ambos associados demonstrou que o sistema radicular pivotante e bem desenvolvido do nabo forrageiro promove o aumento da Ma do solo em Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (Nicoloso *et al.*, 2008). Após três ciclos de cultivo utilizando mistura de plantas de cobertura, Pott *et al.* (2023) observaram melhorias na qualidade física do solo com redução da compactação do solo, porque houve volume de solo explorado por diferentes raízes das diferentes espécies, promovendo maior rompimento de camadas compactadas (Francziskowski *et al.*, 2019). No entanto, Blanco-Canqui (2024) verificou a necessidade de estudos de longo prazo para haver melhorias sobre os atributos do solo, com uso de misturas de plantas de cobertura.

Há dúvidas se a atuação da escarificação em conjunto com plantas de cobertura potencializa o sistema de produção, somando o efeito de ambas as técnicas de manejo. Nesse contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da escarificação associada ao uso de plantas de cobertura nos atributos físicos de Latossolo Bruno em área de plantio direto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em Guarapuava, PR, Brasil (25°23'08.1 "S e 51° 33'16.2 "W), com altitude média de 1100 m, entre julho de 2017 e dezembro de 2020. De acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), o clima da região é classificado como Cfb (subtropical úmido mesotérmico) e a precipitação média anual é 1800 mm (Figura 1). O solo da área é classificado como Latossolo Bruno Distrófico de

acordo com critérios estabelecidos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018), com granulometria de 760, 193 e 47 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente, na camada de 0-0,1 m.

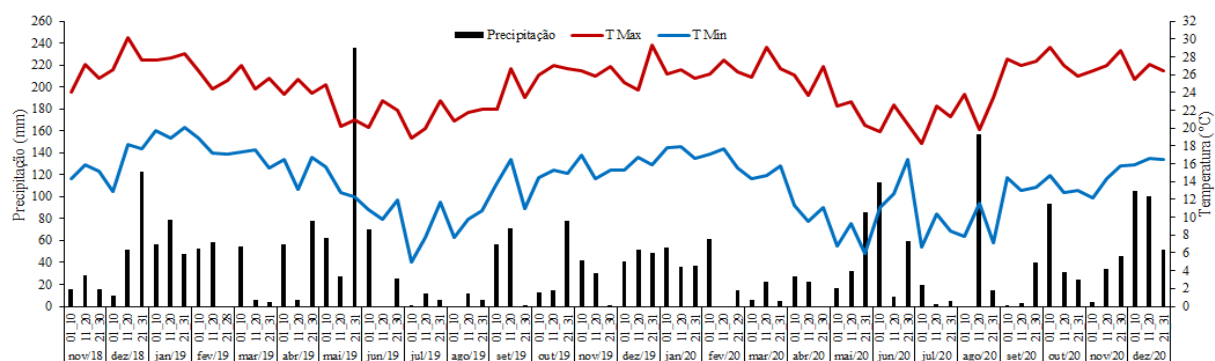


Figura 1. Temperatura máxima (°C), Temperatura mínima (°C), e precipitação (mm) no período de novembro de 2018

Em julho de 2017, a área experimental conduzida sob plantio direto (PD) apresentava volume de Ma inferior a 0,10 m³ m⁻³ na camada de 0,10-0,20 m, valor considerado como limite (Xu *et al.*, 1992), indicando compactação do solo. Por isso, foi realizada uma operação parcial de escarificação na área, utilizando-se o escarificador modelo Asa Laser KS®, composto de 9 hastes, distanciadas 0,40 m uma da outra, com atuação na camada de 0,30-0,40 m de profundidade, tracionado por um trator John Deere® modelo 7515. Três dias após a escarificação foram semeadas as plantas de cobertura, com exceção da área mantida sob pousio. O cultivo do milho foi realizado na safra 2017/2018 e o cultivo da soja foi realizado nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

Os tratamentos foram formados por dois sistemas de manejo do solo: com escarificação e sem escarificação, e três combinações de plantas de cobertura: pousio (PO), nabo + aveia (NA) e mistura de plantas de cobertura (MX), em esquema de parcelas subdivididas com blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais, com dimensões de 4,0 x 16,5 m (66 m²). As plantas utilizadas para a mistura de plantas de cobertura foram: aveia preta (*Avena sativa* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), centeio (*Secale cereale* L.), tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.), trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.).

Para NA, foi utilizado 5 kg ha⁻¹ e 25 kg ha⁻¹ de sementes de nabo e aveia preta, respectivamente. Para a mistura de plantas de cobertura foram utilizados 15 kg ha⁻¹ de aveia preta, 1 kg ha⁻¹ de nabo forrageiro, 15 kg ha⁻¹ de centeio, 15 kg ha⁻¹ de tremoço azul, 10 kg ha⁻¹ de trigo mourisco e 10 kg ha⁻¹ de ervilhaca. Em PO, não ocorreu semeadura durante o intervalo correspondente aos meses de abril e agosto. Antes da semeadura das culturas de verão foi realizada dessecação da área experimental, com glifosato (3,0 L ha⁻¹ p.c.) e diclosulam (40 g ha⁻¹ p.c.) para controle das plantas resistentes ao glifosato presentes no PO.

As avaliações ocorreram aos vinte e oito, trinta e três e quarenta meses após a escarificação do solo, sempre após a colheita das culturas comerciais. Os atributos físicos avaliados foram: macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e densidade do solo (Ds). Aos vinte e oito meses, amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos (100 cm³) na camada entre 0-0,10 m e 0,1-0,20 m de profundidade para determinação destes atributos. Para as mesmas determinações, trinta e três e quarenta meses após a escarificação, as amostras foram coletadas a cada 0,10 m até 0,40 m de profundidade. Para isso, os anéis permaneceram saturados com água durante 48 horas e, posteriormente submetidos a tensão de -6 kPa no equipamento mesa de tensão por 48 horas e em seguida pesados em balança de precisão para determinação da macroporosidade e posteriormente secos em estufa a 105 °C, por 48 horas, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e em caso de significância ($p < 0,05$), foi realizada a comparação das médias, utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com *software* estatístico Sisvar® (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vinte oito meses após a escarificação as variáveis Ma, Mi, Pt e Ds não apresentaram diferenças para os fatores plantas de cobertura e sistema de manejo do solo na camada de 0-0,10 m de profundidade, entretanto, na camada de 0,10-0,20 m de profundidade ocorreu interação para Ma e Mi (Figura 2). O PO com escarificação apresentou valor de Ma acima do considerado crítico ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e menor volume de Mi em relação ao NA e MX, diferença que não ocorreu na área sem escarificação. O tráfego de máquinas para semeadura do NA e MX após a escarificação contribuiu para redução da Ma (Girardello *et al.*, 2017).

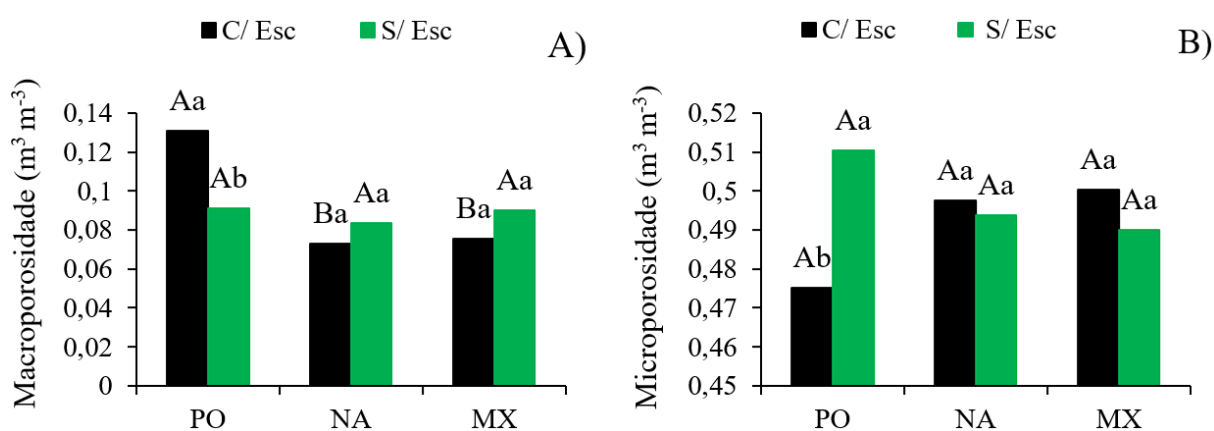


Figura 2. Macroporosidade, Ma ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) (A) microporosidade, Mi ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) (B) na camada de 0,1-0,2 m de profundidade, vinte oito meses após a escarificação do solo. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si para o fator plantas de cobertura e médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si para o fator sistemas de manejo do solo pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A figura 3 apresenta valores de Pt e Ds para camada de 0,1-0,2 m. O tratamento PO apresentou maior volume de Pt, com $0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferindo de NA que apresentou valor médio de $0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

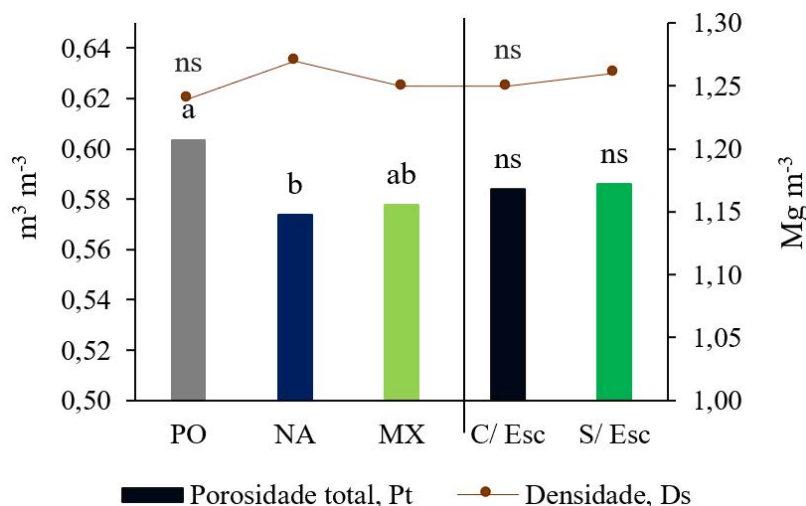


Figura 3. Porosidade total, Pt ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) e densidade do solo, Ds (Mg m^{-3}) na camada de 0,1-0,2 m de profundidade, vinte oito meses após a escarificação do solo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na avaliação dos trinta e três meses não ocorreram diferenças de Pt entre plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo (Figura 4 A e 4 B), indicando que o efeito das raízes das plantas de cobertura e das hastes sulcadoras do escarificador não foram suficientes para preservar esse atributo. Na comparação entre plantas de cobertura, os maiores valores de Ma permaneceram restritos a camada de 0,30-0,40 m de profundidade, quando o solo permaneceu em PO durante o inverno (Figura 4 C). A área com escarificação apresentou maior Ma na camada de 0,20-0,30 m de profundidade, quando comparada diretamente com a área sem escarificação. Esse resultado está relacionado com a profundidade de atuação das hastes do escarificador. Para Drescher *et al.* (2016) a ação de mecanismos rompedores do solo promove aumento na Ma até sua profundidade de atuação. Os maiores valores de Mi ocorreram no NA e MX na camada de 0,20-0,40 m de profundidade, respectivamente (Figura 4 E).

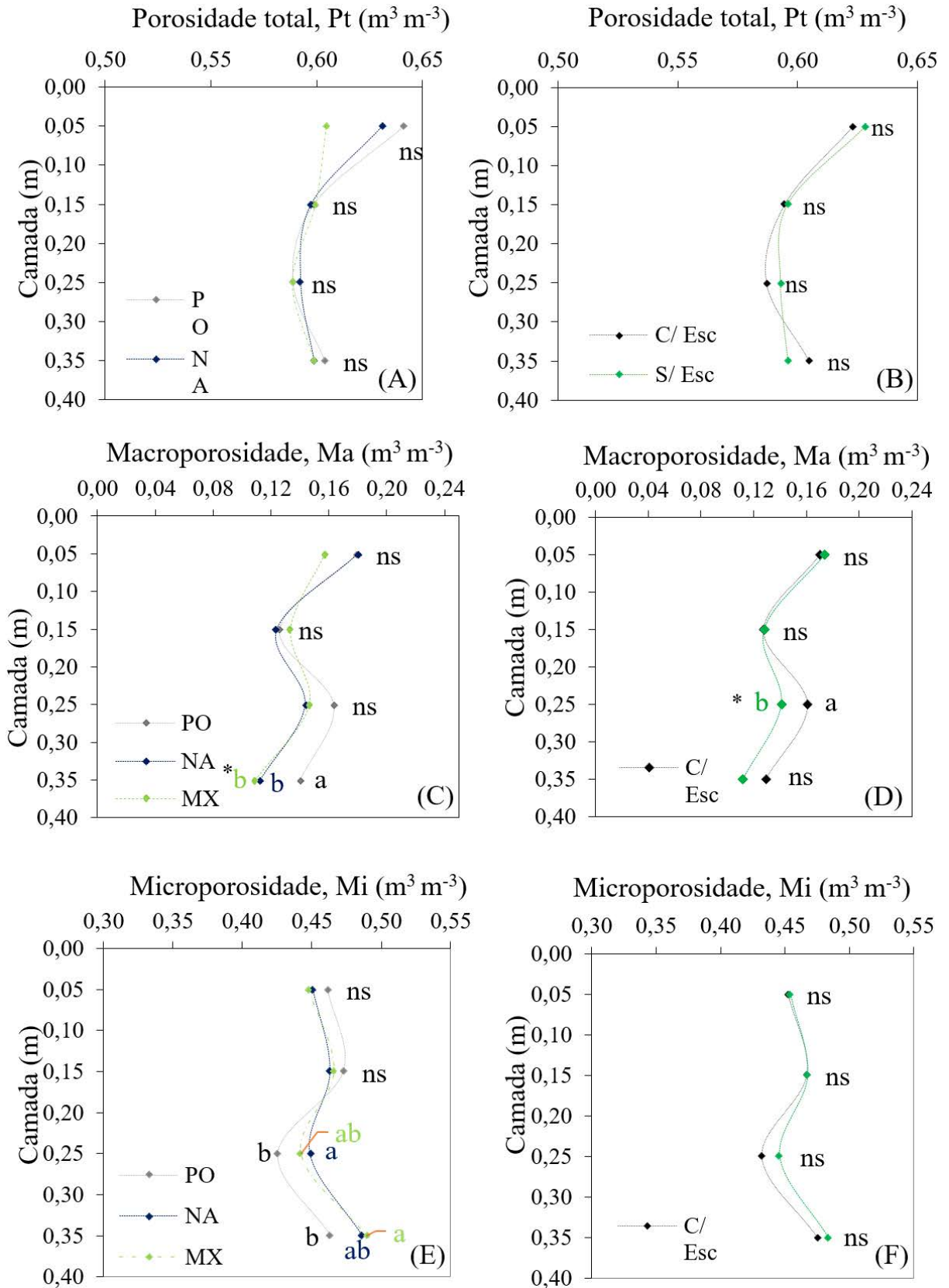


Figura 4. Porosidade total (Pt) (A e B), Macroporosidade (Ma) (C e D) e Microporosidade (Mi) (E e F) sob cultivo de diferentes plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo trinta e três meses após a escarificação. *significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos trinta e três meses após a escarificação, na camada de 0,20-0,30 m de profundidade, ocorreram interações entre fatores para Ma (Figura 5), com maior Ma em PO escarificado, em relação ao não escarificado (Figura 5 A). A Ma, no PO também foi superior em relação as demais plantas de cobertura na área escarificada, sendo constatado valor de $18,89 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, superior em 24% e 21% em relação ao NA e MX, respectivamente.

Em relação a Ds, foi observada diferença na camada de 0,30-0,40 m de profundidade (Figura 6 A). A menor densidade observada foi no PO, com $1,06 \text{ Mg m}^{-3}$, diferindo do MX, com $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 6A).

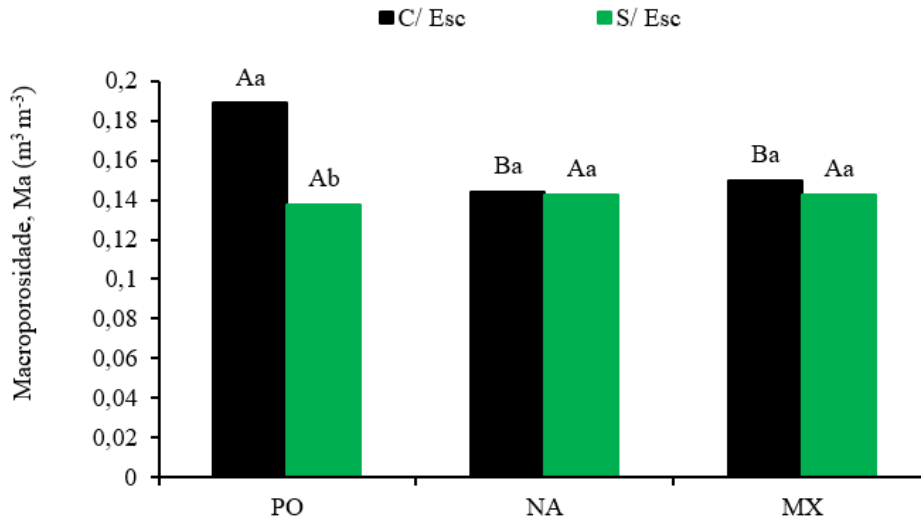


Figura 5. Desdobramento da interação entre plantas de cobertura e os sistemas de manejo do solo trinta e três meses após a escarificação para a macroporosidade (Ma) na camada de 0,20-0,30 m de profundidade. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si para o fator plantas de cobertura em cada sistema de manejo do solo e médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si para o fator sistema de manejo do solo em cada planta de cobertura pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

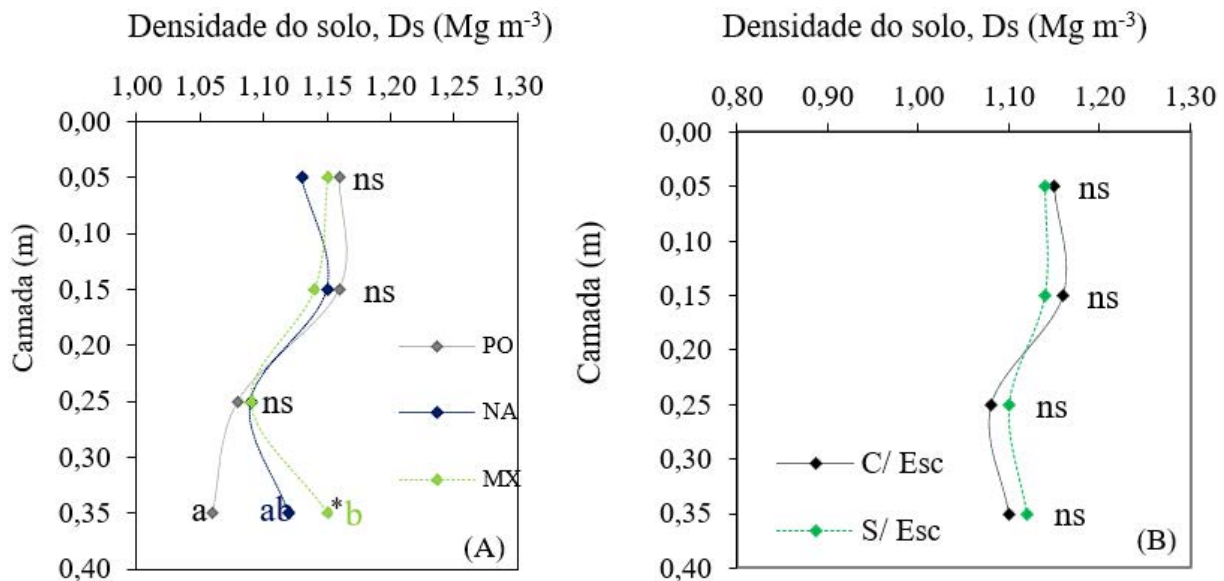


Figura 6. Densidade do solo (Ds) (A e B), sob diferentes plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo trinta e três meses após a escarificação. *significativo pelo teste F ($p < 0,05$). ns não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As variáveis Ma e Mi não apresentam diferença para os fatores testados após quarenta meses de condução da pesquisa, entretanto Pt e Ds apresentam diferença na camada de 0,10-0,20 m de profundidade (Figura 7 C). O MX diferiu do NA e PO, sendo mais eficiente em aumentar o volume de poros totais e reduzir a Ds no longo prazo entre plantas de cobertura, corroborando com Pott *et al.* (2023), que observaram

aumento de Ma e redução de Ds após três anos utilizando mistura de espécies de cobertura em área de plantio direto, confirmando que utilizar apenas uma espécie com raiz pivotante juntamente com outra espécie que possui sistema radicular fasciculado não é suficiente para promover melhorias na qualidade física do solo.

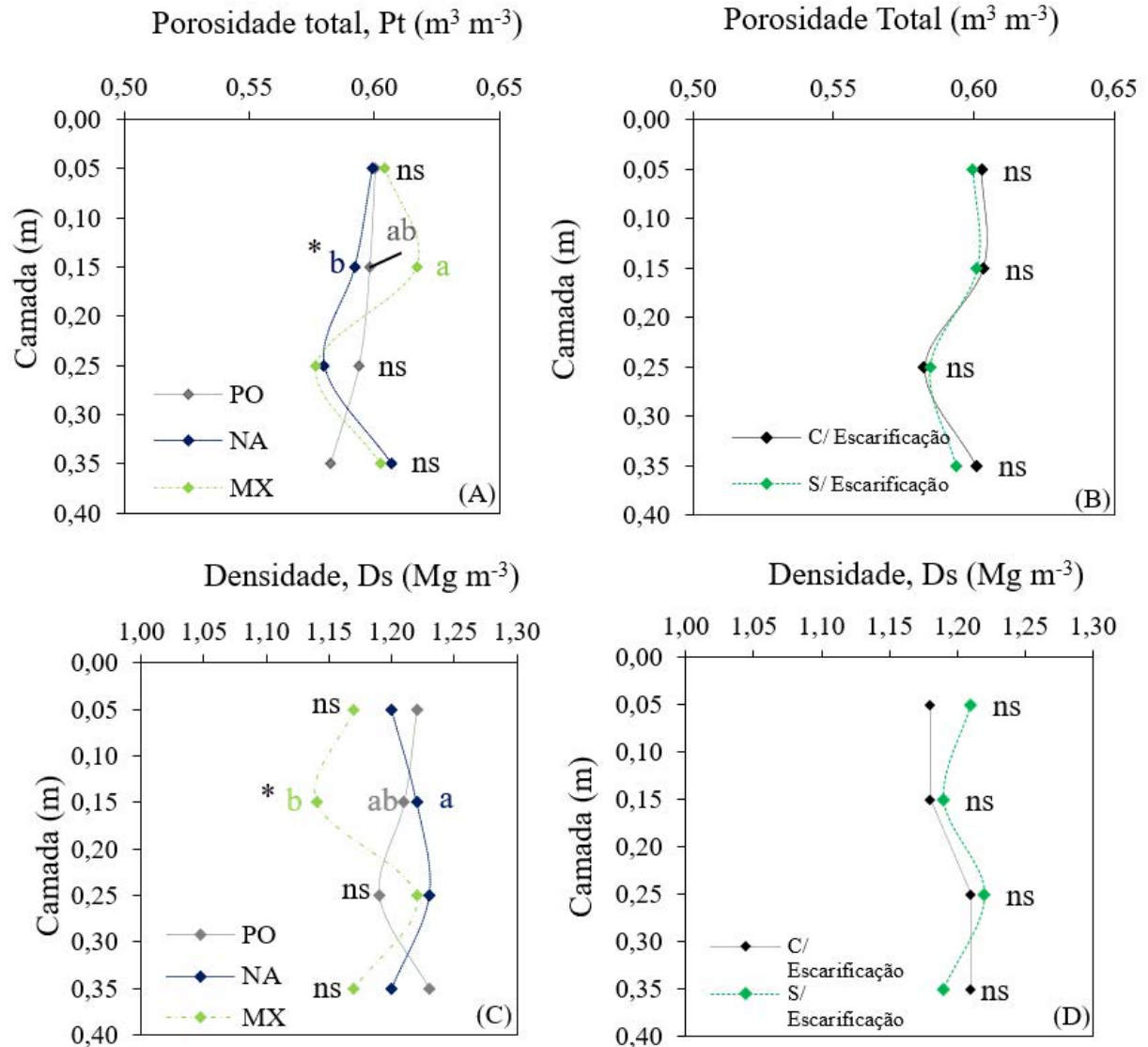


Figura 7. Porosidade total (Pt) (A e B), densidade do solo (Ds) (C e D), sob diferentes plantas de cobertura e sistemas de manejo do solo quarenta meses após a escarificação. *significativo pelo teste F ($p < 0,05$). ^{ns} não significativo. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aos vinte oito meses, o pousio escarificado preservou maior volume de porosidade total e macroporos na camada de 0,10-0,20 m de profundidade em relação ao nabo + aveia. Houve efeito da escarificação na macroporosidade dentro da camada de 0,20-0,30 m de profundidade.

Aos trinta e três meses, a escarificação manteve maior macroporosidade na camada de 0,20-0,30 m de profundidade e no pousio escarificado na camada de 0,30-0,40 m em relação à nabo + aveia.

Não existe efeito duradouro da escarificação do solo após quarenta meses, mas a mistura de plantas de cobertura promove aumento da porosidade total e redução da densidade do solo restrito a camada de 0,10-0,20 m de profundidade.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BARETA JUNIOR, E.; GENUÍ, A. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R.C.; POTT, C.A. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 53, p. e20207533, 2022. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220003>
- BARETA JUNIOR, E.; SILVA, A. A. P.; SENS, T. M. Z. G.; COLECHA, K.; RAMPIM, L.; POTT, C. A. Propriedades físicas do solo em níveis variáveis de compactação do solo. *Research, Society And Development*, v. 10, n. 2, p. e2341028686-e2341028686, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.8686>
- BLANCO-CANQUI, H. Do cover crop mixtures improve soil physical health more than monocultures? *Plant Soil*, v. 495, n. 1, p 99-112, 2024.
- CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; DE OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and ocasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, v. 85, p. 31-37, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>
- COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. D. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, p. 361-368, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000200001>
- DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, p. 159-168, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>
- FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; SEVERIANO, E. C.; ZOTARELLI, L.; BETIOLI JÚNIOR, E. Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 67, n. 3, p. 383-396, 2021. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1733535>
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FRANCZISKOWSKI, M. A.; SEIDEL, E. P.; FEY, E.; ANSCHAU, K. A.; MOTTIN, M. C. Propriedades físicas do solo nos sistemas de plantio direto e preparo reduzido com diferentes plantas de cobertura. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 556-564, 2019. <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i6.966>

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Scientia agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 86-96, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v18i2.50693>.

GOMES JUNIOR, W. L.; BARBOSA, F. T.; MELO, H. F. Desenvolvimento radicular e da parte aérea de cultivos de inverno em solos com diferentes texturas e graus de compactação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 54, p. e20218314, 2023. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230020>

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MASTROBERTI, A. A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; SCHNEPF, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 200, p. 104611, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104611>

NICOLOSO, R. D. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400037>

NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SPINELLI PINTO, L. F.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 531-539, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000700005>

POTT, C. A.; CONRADO, P. M.; RAMPIM, L.; UMBURANAS, R. C.; CONRADO, A. M. C.; OUTEIRO, V. H.; MÜLLER, M. M. L. Mixture of winter cover crops improves soil physical properties under no-tillage system in a subtropical environment. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 1-7, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105854>

PRAZERES, M. S.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; FEHLAUER, T. V. Scarification in no-tillage: soil physics and plant development. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, p. 151-160, 2020. <https://doi.org/10.18188/sap.v19i2.23439>

RAMPIM, L.; POTT, C. A.; VOLANIN, A. J. D.; SPLIETHOFF, J.; CAMILO, E. L.; CAMILO, M. L.; CONRADO, A. M. C.; KOLLING, C. E.; CONRADO, P. M.; NETO, E. G. Influência do manejo mecânico e da adubação verde nos atributos físicos de Latossolo. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 5, p. e173953258-e173953258, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3258>

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA: Brasília, 5ª ed. 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos> >

SPLIETHOFF, J.; RAMPIM, L.; POTT, C. A. Performance of cover and corn plants in different mechanical and biological management associations. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Viçosa, v. 14, n. 4, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i4a6655>

SUSTAKOWSKI, M. C.; SEIDEL, E. P.; BARABASZ, R. F.; DA SILVA, R. H.; DOS REIS, W.; ZIMMERMANN, J.; LANA, M. D. C. Ferralsol Porosity and Density after Mechanical Scarification and Crop Rotation Systems.

Journal of Agricultural, v. 10, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573p.

TRENTIN, R. G.; MODOLO, A. J.; VARGAS, T. D. O.; CAMPOS, J. R. D. R.; ADAMI, P. F.; BAESSO, M. M. Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 40, p. e35015, 2018. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35015>

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 6, p. 1743-1750, 1992. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600060014x>