

## Avaliação da compactação do solo em áreas com diferentes sistemas de manejo

### Assessing soil compaction in sites subjected to different management systems

Emilly Giacobbo<sup>1</sup>; Jessica Chiafitella<sup>2</sup>; Robert William Florentino<sup>3</sup>; João Anésio Bednarz<sup>4</sup>; Valdemir Antoneli<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Aluna do Programa de Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, Brasil. Orcid: 0009-0000-3166-9530. E-mail: [emillygiacobbo26@gmail.com](mailto:emillygiacobbo26@gmail.com)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0009-0002-7058-1616. E-mail: [jehchifitela@yahoo.com.br](mailto:jehchifitela@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Aluno do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0009-0004-3261-8785. E-mail: [robertwilliam1517@gmail.com](mailto:robertwilliam1517@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor da graduação em Engenharia Ambiental e Geografia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0003-0328-1699 E-mail: [joaogeo2013@gmail.com](mailto:joaogeo2013@gmail.com)

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0002-5942-8330 E-mail: [vaantoneli@gmail.com](mailto:vaantoneli@gmail.com)

**RESUMO:** A qualidade física, química e biológica do solo, vem sofrendo constantes alterações nas áreas rurais, principalmente nas pequenas propriedades rurais com predomínio da agricultura familiar. O uso do solo nessas propriedades é explorado ao máximo para que esta se torne rentável. O objetivo desta pesquisa foi avaliar como os diferentes tipos de uso do solo interferem na compactação do solo em uma pequena propriedade na Região Sudeste do estado do Paraná. Os usos utilizados por esta pesquisa foram: floresta, pastagem, cultivo de erva-mate, reflorestamento de eucalipto, agricultura com plantio direto e plantio convencional. As variáveis analisadas foram a densidade do solo, resistência do solo, porosidade e umidade do solo. Ao término da pesquisa concluiu-se que a pressão sobre os diferentes usos do solo interferiu na compactação do solo. A pastagem indicou os piores índices de compactação do solo e a floresta indicou os melhores índices. Foi observado na agricultura que os diferentes tipos de manejo do solo não indicaram variação significativa na densidade e porosidade do solo. No entanto houve variação significativa na umidade e resistência do solo.

**Palavras-chave:** uso do solo, densidade, porosidade, resistência, agricultura familiar.

**ABSTRACT:** Soil physical, chemical and biological quality is under constant change in rural areas, mainly in small farms where family farming prevails. Land use in these properties is maximized to ensure profitability. The aim of the current study is to investigate how different land-use types affect soil compaction in a small farm in Southeastern Paraná State. The herein investigated land-use types comprised forest, pasture, yerba mate cultivation, eucalyptus reforestation, no-till and conventional tillage. Soil density, resistance, porosity and moisture were the analyzed variables. The current findings enabled concluding that pressure deriving from different land uses affected soil compaction. Pasture recorded the highest soil compaction indices, whereas forest recorded the best indices for this variable. On the other hand, different soil management practices did not significantly affect soil density and porosity in agriculture. However, there were significant variations in soil moisture and resistance.

**Keywords:** land use, bulk density, soil porosity, soil resistance, family farming.

## INTRODUÇÃO

A expansão das fronteiras agrícolas e a mecanização das formas de produção, ganharam novos contornos no mundo (Girlanda *et al.*, 2001) promovendo constantes alterações nas paisagens agrícolas tornando-as cada vez mais homogêneas (Llausàs *et al.*, 2009; Katayama, *et al.*, 2015). No entanto, este avanço não foi absorvido completamente pelas pequenas propriedades, os quais como resultado, se mantiveram, e ainda se mantém, defasadas em relação às unidades modernizadas (Silva *et al.*, 1983), restando apenas o desenvolvimento de agricultura em pequenas propriedades com utilização da mão-de-obra familiar com pouca prática conservacionista.

Em áreas rurais, atualmente há certa preocupação com as questões ambientais, no qual um conjunto de técnicas conservacionistas vem tomando espaço em todo o mundo e tem sido disseminada por vários cientistas e instituições (Hobbs *et al.*, 2008) com a expectativa de poder contribuir com a melhoria da qualidade do solo (Thierfelder; Wall, 2012), aumento da produtividade agrícola (Gathala *et al.*, 2013), redução da contaminação dos solos e recursos hídricos (Semple *et al.*, 2001; Maillard *et al.*, 2011) e manutenção da zona ripária dentre outros.

Neste contexto, as pequenas propriedades acabam explorando ao máximo o potencial delas para aumento da rentabilidade. Esta condição permite que o agricultor transforme áreas com restrições ao uso em áreas agricultáveis e áreas de pastagens, podendo apresentar altos índices de degradação do solo.

A degradação do solo refere-se aos processos, principalmente induzidos pelo homem, pelos quais o solo sofre alteração na qualidade física, química e biológica. Esta alteração, pode afetar a produção (Fao, 2011). As principais causas da degradação do solo são a erosão, compactação, salinização, depleção de nutrientes, contaminação e a impermeabilização do solo, dentre outros (Bindraban *et al.*, 2012)

A estimativas da taxa de degradação dos solos, da extensão em que áreas são afetadas, dos custos incorridos devido ao declínio da produtividade e de outras perdas econômicas, e de como isso impacta na segurança alimentar, são extremamente variáveis e incertas (Telles *et al.*, 2011).

A compactação do solo envolve as mudanças nas propriedades físicas do solo (densidade, resistência e porosidade do solo) a qual alterara a estrutura do solo. A mudança das condições físicas do solo através do aumento da densidade e redução da porosidade do solo pode interferir na produtividade agrícola (Mueller *et al.*, 2013); crescimento das raízes (Correia *et al.*, 2019); na redução da condutividade hidráulica e permeabilidade ao ar (Horn *et al.*, 1995).

A densidade do solo é o parâmetro mais utilizado para caracterizar a compactação do solo (Håkansson; Lipiec, 2000). Cabe destacar que a densidade do solo é inversamente relacionada à porosidade do solo, que mostra o espaço deixado no solo para a movimentação do ar e da água (McNabb *et al.*, 2001).

No entanto a variação da densidade do solo depende do tipo de uso do solo e das práticas adotadas na agricultura. Panagos *et al.* (2024) realizaram um levantamento da densidade do solo com 600 amostras em diferentes tipos de usos do solo e perceberam que as terras aráveis têm a maior média de densidade do solo ( $1,26 \text{ g cm}^{-3}$ ), seguido de culturas permanentes ( $1,23 \text{ g cm}^{-3}$ ), áreas agrícolas heterogêneas ( $1,14 \text{ g cm}^{-3}$ ), pastagens ( $1,08 \text{ g cm}^{-3}$ ) e bosques ( $0,84 \text{ g cm}^{-3}$ ).

A variação na resistência no solo, densidade e porosidade do solo, tornam-se mais evidentes nas áreas agrícolas com diferentes práticas de cultivo. Antoneli e Thomaz

(2010;2014) observaram mudança significativa nos níveis de densidade e porosidade do solo na camada superficial quando comparados dois tipos de manejo do solo (plantio convencional e plantio direto). Destaca-se que o uso de técnicas conservacionistas pode melhorar a estrutura do solo (Yang *et al.*, 2018), reduzir a compactação do solo, diminuir a densidade do solo, aumentar o armazenamento e a saturação de água no solo em todo o perfil do solo (Chen *et al.*, 2009).

Apesar da ampla gama de pesquisas que enfocam as mudanças na compactação do solo em áreas rurais, pouca atenção tem sido dada para o entendimento dessas mudanças em pequena propriedade rural. Principalmente porque nas pequenas propriedades rurais há maior pressão sobre o recurso naturais. Outra questão importante está relacionada a diversidade de usos do solo das pequenas propriedades, no qual geralmente há áreas agrícolas, pastagens, reflorestamentos, floresta nativa, dentre outros.

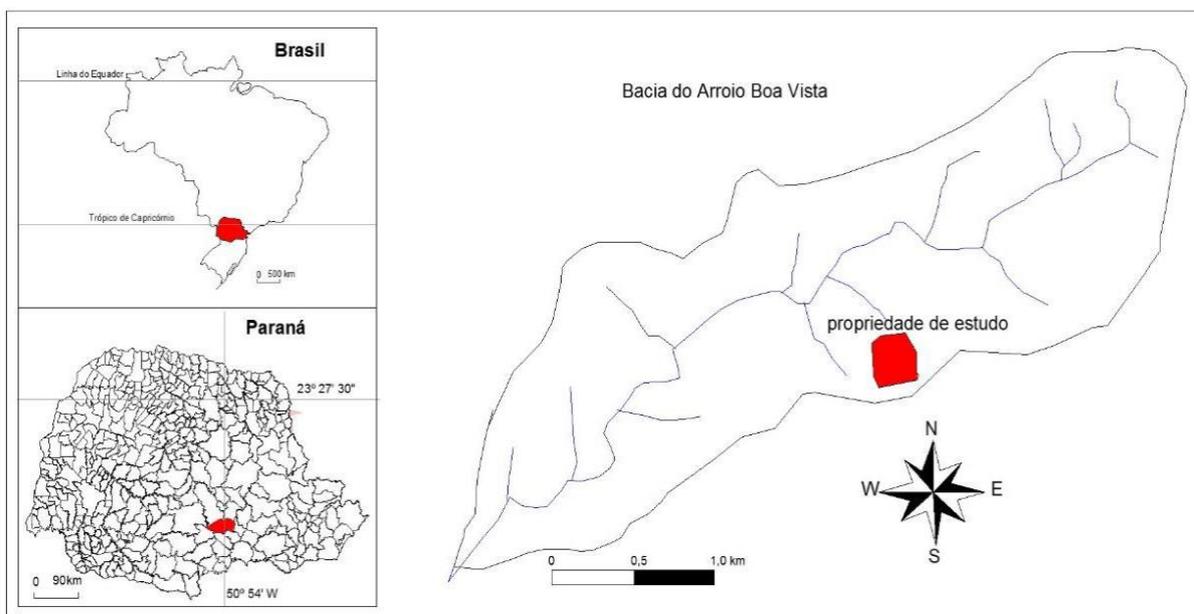
O objetivo desta pesquisa foi avaliar o nível de compactação em uma pequena propriedade rural na Bacia do Arroio Boa Vista na Região sudeste do Estado do Paraná, com diferentes tipos de uso do solo. Foram mensuradas a densidade do solo, Porosidade total do solo, resistência do solo a penetração e umidade do solo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização da área de estudos

A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade rural localizada na bacia hidrográfica do Arroio Boa Vista, a qual está inserida entre as coordenadas geográficas 25° 09'21" e 25° 07'45" de latitude Sul e entre 50° 54' 44" e 50° 52' 25" de longitude Oeste, entre as altitudes de 720 e 840 metros, na parte noroeste do município de Guamiranga – Paraná (Figura 1).

**Figura 1.** Localização da área de estudos.



No contexto regional, a área de estudo está inserida na borda oeste do Segundo Planalto Paranaense na área de transição entre os depósitos sedimentares com a

Formação Serra Geral (Antoneli; Thomaz, 2014). Esta condição permite o surgimento de diques de diabásio entre as áreas de rochas sedimentares

O regime climático da área de estudos é caracterizado segundo classificação de Köppen como Cfb, subtropical úmido, com temperaturas médias anuais entre 17° e 19°C. A média histórica da pluviosidade (1990 a 2020) é de 1957 mm/ano. Deste total, 33% ocorrem na primavera, 27% no inverno, 24% no verão e 16% no outono.

A região onde a propriedade rural está inserida apresenta algumas características particulares, devido ao predomínio da agricultura familiar e intensificação do uso do solo voltado para agricultura com cultivos de tabaco, milho, soja e feijão. Acrescenta-se, ainda, o emprego de práticas agrícolas com baixa tecnologia e com utilização de implementos e ferramentas rudimentares, principalmente por se tratar de uma área onde há um predomínio de pequenas propriedades, onde 85% das áreas agrícolas são destinadas ao cultivo do tabaco (Antoneli; Thomaz, 2010).

Segundo classificação do IAPAR (1995), a bacia se insere no conglomerado denominado C13, que define a região com alta participação de culturas temporárias, principalmente fumo, milho e feijão; sendo utilizada a força do trabalho familiar e de tração animal. É composta, ainda, de pastagens, mata natural de reflorestamento e áreas em pousio associadas à baixíssima utilização de insumos agroindustriais e motomecanização.

As condições de clima, relevo e solo, potencializam o tipo de uso do solo na propriedade rural onde a pesquisa foi realizada. Destaca-se que a propriedade é formada por 21 hectares, os quais estão distribuídos da seguinte forma: (**Tabela 1**).

**Tabela 1.** Características de cada tipo de uso do solo encontrada na área de estudos.

Usos do solo	Área (ha) (%)	Características
<b>Floresta</b>	3,4 (16,3)	Floresta nativa, utilizada como reversa legal. Declividade média 14%; Solo: Cambissolo Háplico; Textura: areia 24%, silte 32%, areia 44%. Utilizada como área de pernoite dos animais domésticos,
<b>Reflorestamento de eucalipto</b>	2,7 (13,0)	Reflorestamento plantado a 15 anos. A madeira é utilizada para secagem das folhas de tabaco. Declividade:12%. Solo: Cambissolo Háplico. Textura areia 26%, silte 30%, areia 44%.
<b>Erva mate</b>	2,0 (9,6)	Erva mate cultivada (20 anos) em sistema de capina nas entrelinhas. Declividade 8%. Solo: Cambissolo Háplico. Textura areia 28%, silte 32%, areia 40%.
<b>Pastagem</b>	3,2 (15,4)	Pastagem nativa com criação de animais de forma extensiva (~50 anos). Declividade 15%. Solo: Cambissolo Háplico. Textura areia 30%, silte 24%, areia 46%.
<b>Plantio convencional</b>	4,5 (21,6)	Área agrícola com duas safras por ano feijão e milho, e no inverno cultivo de aveia. Área cultivada a 25 anos. Com revolvimento do solo constante. Solo exposto ao longo do cultivo. Declividade: 16%. Solo: Cambissolo Háplico. Textura: areia 23%, silte 27%, areia 50%.
<b>Plantio direto</b>	5,0 (24,0)	Área agrícola com duas safras por ano feijão e milho, e no inverno cultivo de aveia e utilizadas como camada morta para novo ciclo de cultivo. Área cultivada a 8 anos. Sem revolvimento do solo, pouca exposição do solo. Declividade: 6%. Solo: Cambissolo Háplico. Textura: areia 29%, silte 25%, areia 46%.

Fonte: Dos autores, 2024.

## Procedimentos de coleta dos dados

Em cada tipo de uso do solo (floresta, reflorestamento de eucalipto, erva mate, pastagem, plantio convencional e plantio direto), foram abertas 9 trincheiras de forma aleatória, com 60 cm de profundidade, sendo coletadas amostras a cada 10 cm de profundidade (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 cm), totalizando 54 amostras de solo em cada tipo de usos do solo. As variáveis analisadas foram a densidade do solo, resistência do solo a penetração, porosidade total e umidade do solo. As amostras foram coletadas de forma aleatória em cada tipo de uso do solo a cada 10 cm de profundidade

## Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico proposto pela Embrapa (1997). Foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço com volume conhecido. Cada amostra foi colocada em embalagem separada e vedada, com anotações e transferida para o laboratório para análise.

No laboratório cada amostra foi colocada num recipiente de peso conhecido, pesada e levada a estufa para secagem. Após 24 horas as amostras foram retiradas e novamente pesadas. Para calcular a densidade do solo dividiu-se a massa do solo pelo volume do anel. Após a secagem as amostras foram pesadas e para estimar a densidade do solo, utilizou-se da Equação 1, proposta pela Embrapa (1997).

$$D_s = \frac{M_s}{V} \tag{1}$$

Sendo:

Ds = Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)

Ms = Massa seca (g)

V = volume do anel (cm<sup>3</sup>)

## Densidade de partículas

Os valores da Densidade de Partículas foram obtidos através do método proposto pela EMBRAPA (1997). Foi coletado solo deformado de cada camada, conforme descrito anteriormente. No laboratório, as amostras foram secas em estufa, destorroadas, sendo inseridos 20 g de solo de cada camada em balão volumétrico de 50 ml completando-o com álcool etílico de deixando em repouso por 24 horas. Após esse tempo foi completado o balão com o álcool (caso necessário) e aplicada a equação 2:

$$D_r = P/50 - V. \text{Álcool} \tag{2}$$

Sendo:

Dr. = Densidade de partículas (g/cm<sup>3</sup>)

P = Peso da Amostra seca (g)

V. Álcool = Volume de álcool inserido (ml)

## Porosidade do solo

Também foi adotado o método da porosidade total da Embrapa (1997). Tendo obtido os dados de densidade aparente e real, aplicou-se a equação 3 para a obtenção da porosidade:

$$Pt=100*Dr-Da/Dr \quad (3)$$

Sendo:

Pt = Porosidade Total (%)

Dr = Densidade Aparente

Da = Densidade Real

## Resistência do solo a Penetração

Para avaliar a resistência do solo a penetração foi utilizado o método do penetrômetro de impacto do tipo dinâmico, cuja penetração ocorre por impacto (Stolf *et al.*, 2014) em perfil de 0 - 60 cm de profundidade. No entanto, utilizamos de 0 a 40 cm a profundidade, por observar que a influência dos animais em pastejo e ação dos implementos agrícolas utilizadas na agricultura se restringem apenas as camadas superficiais do solo.

Os dados referentes ao número de impactos e as respectivas profundidades de cada impacto foram transferidos para uma planilha Excel com *Visual Basic Application* (VBA), como linguagem de programação, ambas da Microsoft®.

## Umidade do solo

As mesmas amostras de densidade serviram para identificar a umidade do solo. As quais foram pesadas logo que chegaram do campo (umidade de campo) colocadas na estufa por 24 horas a 105°C e pesadas na sequência. A umidade foi extraída conforme a equação 4.

$$U = \frac{Ms - Mu}{Ms} * 100 \quad (4)$$

Sendo:

U = Umidade do solo (%)

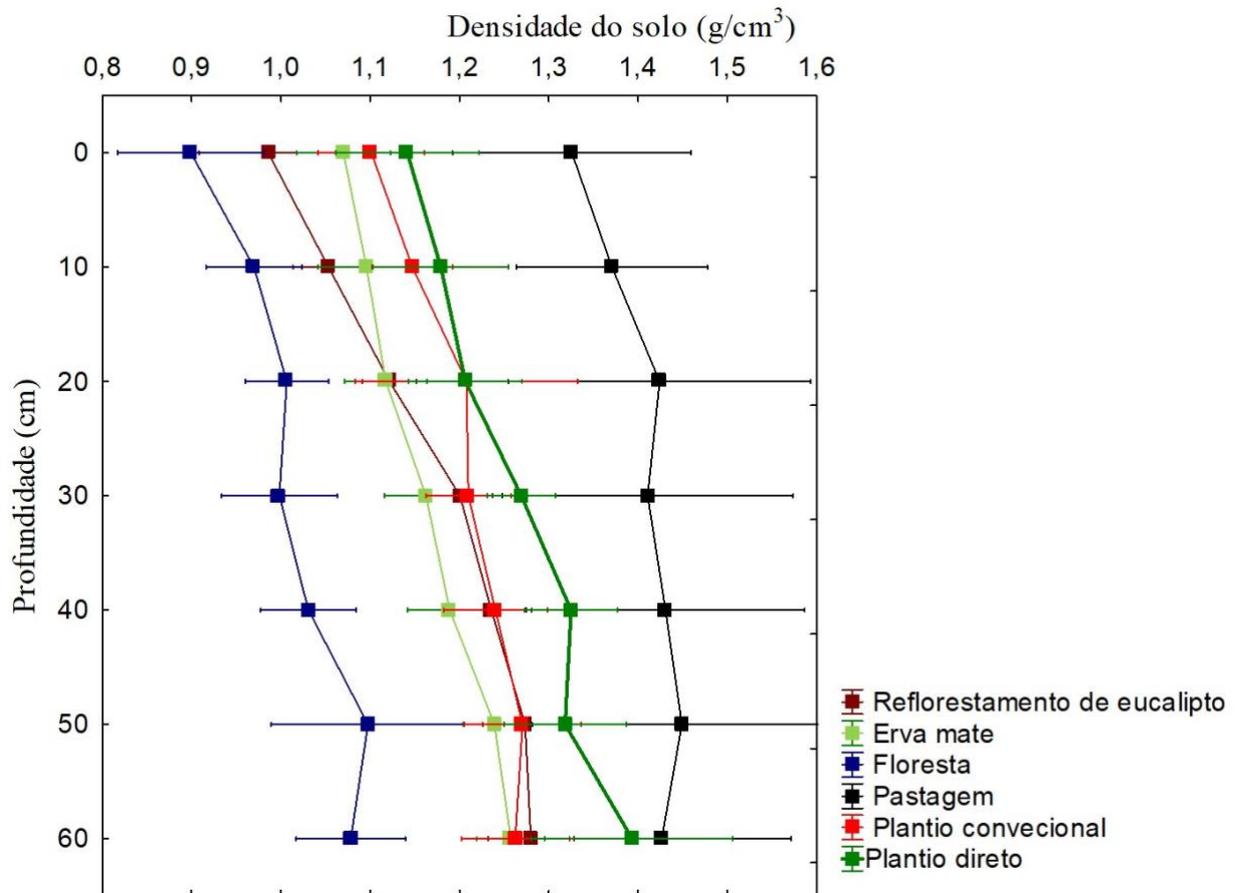
Ms = Massa seca (g)

Mu = Massa úmida (g)

## RESULTADOS

A análise dos atributos físicos mostrou que ocorreram diferenças significativas entre os diferentes tipos de uso do solo avaliados. Com relação a densidade do solo, a área que apresentou os maiores valores foi a pastagem com criação de animais de forma extensiva há aproximadamente 50 anos. Os valores obtidos variaram de 1,3 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, seguida pela área com plantio direto há 08 anos, no qual a variação foi de 1,1 e 1,3 g/cm<sup>3</sup> (**Figura 2**).

**Figura 2.** Densidade do solo nos diferentes tipos de usos.



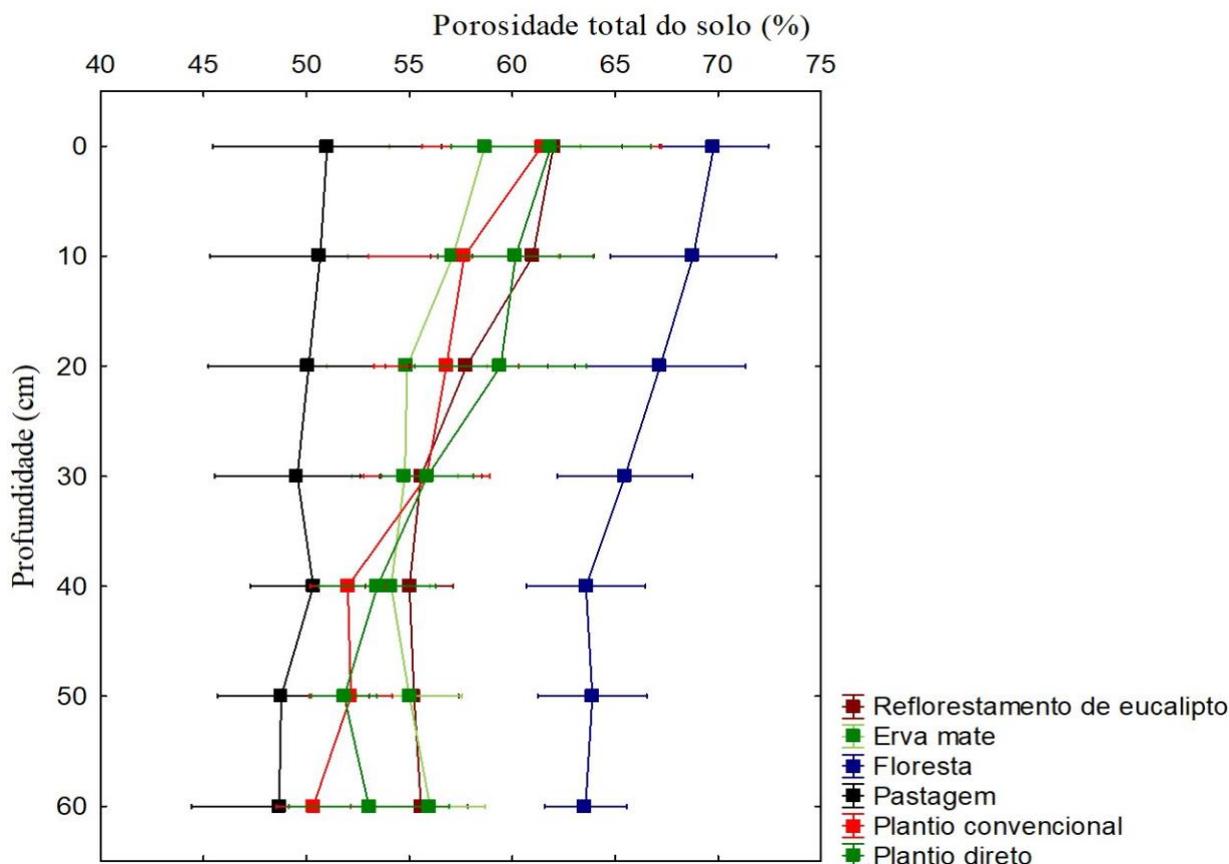
Fonte: Dos autores, 2024.

A floresta indicou menor valor de densidade do solo, variando de 0,9 (g/cm<sup>3</sup>) na superfície do solo a 1,05 (g/cm<sup>3</sup>) a 60 cm de profundidade. O reflorestamento de eucalipto indicou variação significativa entre as profundidades, variando de 0,99 (g/cm<sup>3</sup>) na camada superficial a 1,2 (g/cm<sup>3</sup>) a 60 cm. A erva mate indicou solo menos denso na superfície quando comparada ao reflorestamento de eucalipto. No entanto, após 20 cm de profundidade a densidade foi maior.

As áreas de agricultura com plantio direto e plantio convencional indicaram pouca variação nas primeiras camadas do solo (0 a 20 cm de profundidade), mesmo assim a densidade do solo foi maior no plantio direto. Após essa profundidade, a densidade do solo entre as duas formas de cultivo indicou maior variação. Cabe destacar que a densidade do solo das áreas agrícolas com diferentes formas de manejo indicou valores adversos. A densidade do solo no plantio direto foi menor nas primeiras camadas e maior de 20 cm de profundidade em diante. Já a pastagem indicou maior densidade do solo dentre todas as áreas estudadas (média de 1,35 (g/cm<sup>3</sup>)).

A porosidade do solo seguiu o padrão inverso da densidade, no qual a maior porosidade foi encontrada na floresta com média em torno de 68% e menor na pastagem com média de 50,5%, aumento de 34% (**Figura 3**).

**Figura 3.** Porosidade do solo nos diferentes tipos de usos.



Fonte: Dos autores, 2024.

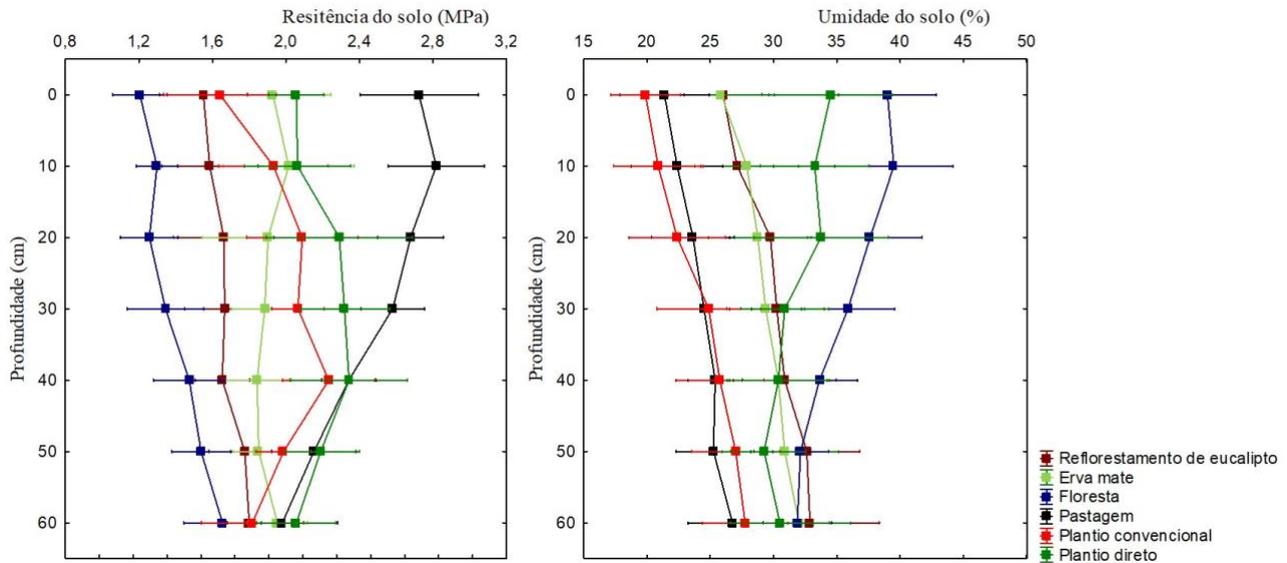
Através da figura 2, observa-se os extremos da porosidade do solo, entre a floresta (maior porosidade) e a pastagem (menor porosidade). No intervalo dessas duas áreas, encontra-se os valores da porosidade do solo dos outros tipos de uso. A erva mate, o reflorestamento de eucalipto e as duas formas de cultivo, indicaram valores similares ao longo da profundidade. Ambos indicaram maior valor na superfície do solo em relação as demais profundidades.

O cultivo da erva mate indicou menor porosidade na superfície do solo quando comparado ao reflorestamento de eucaliptos e as duas formas de cultivo. No entanto, a 60 cm de profundidade, a porosidade foi maior entre os referidos tipos de uso.

A resistência do solo a penetração indicou sequência de valores similar a densidade e porosidade do solo, onde a menor resistência do solo foi encontrada na floresta e a maior resistência na pastagem (**Figura 4**). Cabe destacar que a umidade do solo é um dos fatores principais para o entendimento da resistência do solo a penetração. Neste caso, junto a **Figura 4**, encontra-se uma representação da distribuição dos valores de umidade de cada uso do solo no dia das coletas de resistência.

A maior variação entre os valores de resistência do solo foi encontrada na camada superficial do solo, onde a pastagem indicou média de 2,55 Mpa, (maior valor) e a floresta com média de 1,3 Mpa (menor valor), uma variação em torno de 96,2%. No entanto, na última camada mesurada (60 cm de profundidade) a variação da densidade do solo foi de apenas 29,7%.

**Figura 4.** Resistência do solo a penetração e valores de umidade do solo.



Fonte: Dos autores, 2024.

As duas áreas de florestas, indicaram valores crescentes em relação a profundidade. A erva mate indicou menor resistência do solo entre as profundidades quando comparado com os demais tipos de usos. As duas formas de cultivo indicaram valores crescente até 40 cm de profundidade, logo após, indicaram redução dos valores à medida que a profundidade aumentava. A pastagem indicou aumento de resistência do solo da camada superficial até 10 cm de profundidade. A partir dessa profundidade, os valores foram reduzindo ao longo da profundidade.

A umidade do solo indicou padrão similar a resistência do solo com maior variação na superfície e menor variação na 60 cm de profundidade. Na superfície do solo foi observado dois grupos distintos de umidade sendo que as áreas de plantio convencional, erva mate, reforestamento de eucalipto e pastagem indicaram aumento da umidade em relação a profundidade. Já as áreas de floresta e plantio direto indicaram redução de umidade em relação a profundidade. A menor umidade do solo foi observada na agricultura de plantio convencional e maior foi observada na floresta.

## DISCUSSÕES

As pequenas propriedades rurais na região Sudeste do Paraná, geralmente são caracterizadas por uma diversidade maior de uso do solo, com áreas de agricultura, florestas entremeadas com pastagens e reforestamento. As áreas de florestas são consorciadas com clareias de pastagem nativa para criação de animais de forma extensiva. Isso faz com que os animais em pastejo utilizem tanto áreas de pastagens quanto áreas de florestas. Essa é uma das condições que interfere na compactação do solo nas áreas de florestas. Os valores médios de densidade, porosidade e resistência do solo encontrados nesta pesquisa, foram superiores aqueles encontrados por Schoenholtz *et al.*, (2000); Yu *et al.* (2018); Xia *et al.* (2019); Shao *et al.* (2020). Nossos achados mostram que a criação de animais de forma extensiva sem adoção de técnicas conservacionistas, potencializa a compactação do solo, devido o pisoteio constante.

Os menores valores de densidade e resistência do solo na camada superficial do solo na área de floresta é em virtude da concentração de matéria orgânica devido a decomposição da serrapilheira (Prescott; Vesterdal, 2021). A matéria orgânica pode ter contribuído para o aumento da porosidade na superfície do solo quando comparado com as demais profundidades (King *et al.*, 2019). Os resultados encontrados por esta pesquisa, sugerem que animais em pastejo, utilizam os fragmentos de florestas em busca de abrigo e alimento. Isso promove maior compactação da camada superficial do solo.

A pastagem indicou os piores índices de compactação do solo, devido ao pisoteio constate dos animais, sendo este uma das principais causas da degradação do solo em pastagens (Benevenuto *et al.*, 2020). As primeiras camadas de solo na pastagem indicaram os maiores índices de compactação, com uma resistência média de 3,0 MPa e densidade do solo em torno de 1,4 g/cm<sup>3</sup> e porosidade em torno de 50%. Esses valores tornam-se impeditivos para o desenvolvimento radicular das plantas (Drewry *et al.*, 2008; Pulido *et al.*, 2016; Bécel *et al.*, 2012.) o que pode contribuir para o aumento da degradação dessas pastagens.

Quando observado os dados de densidade, porosidade e resistência do solo na pastagem, fica evidente que a ação do pisoteio dos animais exerce influência nas primeiras camadas do solo, pois foi observado que a compactação do solo indicou valores similares até 30 cm de profundidades. Após essa profundidade, observou-se redução da densidade do solo, aumento da porosidade e redução da resistência.

O aumento da resistência do solo e redução da porosidade do solo nas na camada superficial da pastagem pode levar a redução da infiltração (Colombi *et al.*, 2018) e aumento do escoamento superficial. A dinâmica hidrológica da superfície do solo em áreas de pastagem contribui para redução da umidade do solo. Cabe destacar que a umidade do solo é um aliado da resistência do solo (Dexter *et al.*, 2007). Portanto há uma alta correlação entre a umidade do solo e resistência a penetração.

A compactação do solo em cultivo de erva mate é similar aos dados apresentados pelo reflorestamento de eucalipto. A porosidade total na camada superficial do solo foi de 58,5%, enquanto a densidade do solo foi de 1,09 g/cm<sup>3</sup>. Estes valores são similares aqueles encontrados por Pezarico *et al.* (2013) que em um cultivo de erva mate encontraram porosidade do solo em torno de 57,0% e densidade do solo em torno de 1,16 g/cm<sup>3</sup>.

Dentre as áreas florestadas, o reflorestamento de eucalipto indicou os piores valores de compactação do solo com densidade solo em torno de 1,07 g/cm<sup>3</sup>, porosidade total de 60,1% e resistência do solo em torno de 1,7 Mpa. Esses valores condizem com aqueles encontrados por Alvarenga e Davide (1999), observados em reflorestamento de eucalipto com 15 anos de cultivo.

A redução da qualidade do solo nas áreas de eucaliptos quando comparados com as demais áreas florestadas pode ser em decorrência da taxa de decomposição da serrapilheira do eucalipto, a qual é mais lenta do que a espécies nativas (Demesse *et al.*, 2012; Cizungu *et al.*, 2014; Guedes *et al.*, 2016).

As áreas agrícolas estudadas, indicaram características físicas semelhantes (**Tabela 1**), com pouca variação na compactação do solo, exceto na resistência do solo entre 20 a 40 cm de profundidade, onde o plantio direto indicou menor resistência. Na literatura é encontrada uma vasta gama de pesquisas que indicam melhorias no solo com uso de práticas conservacionistas (Ghimire *et al.*, 2017; Nouri *et al.*, 2018; Almagro *et al.*, 2023).

A atividades de manejo nas duas formas de plantio são diferentes, enquanto no plantio convencional o solo é revolvido constantemente, no plantio direto o solo permanece

sem revolvimento. Essa condição permite que o solo no plantio convencional indique menor compactação da superfície até 30 cm de profundidade. Os maiores valores de resistência do solo em ambos os sistemas de manejo do solo foram encontrados a 40 cm de profundidade. Esta questão pode ser atribuída ao manejo do solo que através das atividades agrícolas durante o cultivo potencializam o surgimento do pé de grade (camada mais compactada).

Alguns estudos concluem que a conversão do preparo convencional para o plantio direto geralmente resulta em uma maior resistência do solo na camada de 0-20 cm, porque o solo não é revolvido (SALEM *et al.*, 2015; GAO *et al.*, 2016). A umidade do solo na camada superficial do plantio direto parece não ter influenciado na redução da resistência do solo, apesar de haver uma redução do atrito entre partícula do solo e o cone do equipamento, conforme observado por Souza *et al.* (2021).

A maior umidade do solo na camada superficial do plantio direto, pode ser em decorrência da cobertura superficial do solo, pois durante o inverno é semeado aveia (*Avena sativa*) que servirá de camada morta para o próximo ciclo de cultivo.

## CONCLUSÕES

A redução de práticas conservacionistas nos diferentes tipos de uso do solo nas pequenas propriedades rurais, têm levado essas áreas a degradação do solo. As áreas de florestas por exemplo são utilizadas para pousio de animais domésticos. Entremeados a floresta e/ou reflorestamento de espécies exóticas encontram-se clareiras de pastagem nativa que sofrem pressão contante do pastoreio. Esta condição potencializou a compactação do solo das áreas de florestas e das pastagens.

A porosidade e a densidade do solo no plantio de erva mate indicaram valores similares ao reflorestamento de eucalipto. No entanto, a exposição da superfície do solo e a falta de revolvimento da camada superficial do solo pode ter levado ao aumento da resistência do solo quando comparado com as áreas florestadas.

As áreas agrícolas indicaram algumas similaridades na compactação do solo. No entanto, fica evidente que a adoção de práticas conservacionistas na agricultura melhora as condições do solo.

Portanto, as pequenas propriedades necessitam ser melhor estudadas em relação as questões da compactação do solo, por haver certa pressão no uso e ocupação do solo. Pesquisas relacionadas as condições físicas do solo em pequenas propriedades são incipientes e isso tem contribuído para abertura de novas perspectivas de pesquisas.

## REFERÊNCIAS

ALMAGRO, M.; DÍAZ-PEREIRA, E.; BOIX-FAYOS, C.; ZORNOZA, R.; SÁNCHEZ-NAVARRO, V. RE, *et al.* The combination of crop diversification and no tillage enhances key soil quality parameters related to soil functioning without compromising crop yields in a low-input rainfed almond orchard under semiarid Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 345, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108320>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Perda de solo em cultivo de tabaco sob diferentes formas de cultivo na região Sudeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n.3, p. 455–469. 2014.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Relação entre o cultivo de fumo (*Nicotina tabacum L.*) e a produção de sedimentos na Bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga – PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 2, p.383-397, 2010.

BÉCEL, C.; VERCAMBRE, G.; PAGÈS, L. Soil penetration resistance, a suitable soil property to account for variations in root elongation and branching. **Plant Soil**, v. 353, p. 169-180, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1020-7>. Acesso em: 07 abr. 2023

BENEVENUTE P. A.N.; MORAIS, E G.; SOUZA A. A.; VASQUES, I. C.F.; CARDOSO, D. P.; SALES, F. R. *et al.* Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures. **Ecological Indicators**, v. 117, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106647>. Acesso em: 02 set. 2022.

BINDRABAN, P. S.; VELDE, M.; YE L.; BERG M.; MATERECHERA, S.; KIBA, D.I. Assessing the impact of soil degradation on food production. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 4, n. 5, p. 478-488, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.09.015>. Acesso em: 20 out. 2022.

CHEN, H.; HOU, R.; GONG, Y.; LI, H., FAN, M.; KUZYAKOV, Y. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. **Soil & Tillage Research**, v. 106, p. 85–94. 2009.

CIZUNGU, L.; STAELENS J.; HUYGENS D.; WALANGULULU J.; MUHINDO D.; CLEEMPUT O. V. Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and Eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 326, p. 109–116, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.015>. Acesso em: 25 set. 2022

COLOMBI, T.; TORRES, L.C.; WALTER, A.; KELLER, T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – a vicious circle. **Science of The Total Environment**, v. 626, p. 1026-1035, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.129>. Acesso em: 08 nov. 2022.

CORREA, J.; POSTMA, J. A.; WATT, M.; WOJCIECHOWSKI, T. Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. **J. Exp. Bot.** v. 70, p. 6019– 6034. 2019.

DEMESSIE A.; SINGH B. R.; LAL R.; STRAND L. T. Leaf litter fall and litter decomposition under Eucalyptus and coniferous plantations in Gambo District, southern Ethiopia. **Acta Agricultura Scandinavica, Section B-Soil e Plant Science**, v. 62, n. 5, p. 467–476, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.645497>. Acesso em: 02 set. 2022.

DEXTER, R.; CZYŻ, E. A.; GAŹE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance, **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.05.011>. Acesso em: 01 fev. 2023.

DREWRY, J.J. CAMERON, K.C.; BUCHAN, G.D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing—review Australian **Journal of Soil Research**, v.46, n.3, p.237 – 256. 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) Managing Systems at Risk** FAO, Rome, Italy and Earthscan, Londres, 2011.

GAO, W.; WHALLEY, W. R.; TIAN, Z.; LIU, J.; REN T. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 190-198, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.004>. Acesso em: 10 jul. 2023.

GHIMIRE R.; LAMICHHANE S.; ACHARYA B. S.; BISTA P.; SAINJU U. M. Tillage, Crop Residue, and Nutrient Management Effects on Soil Organic Carbon in Rice-Based Cropping Systems: A Review. **Journal of Integrative Agriculture**. v. 16, n. 1, p. 2095-3119, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61337-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61337-0). Acesso em: 04 jun. 2023.

GIRLANDA, M.; PEROTTO, S.; MOENNE-LOCCOZ, Y.; BERGERO, R.; LAZZARI, A.; DEFAGO, G. Impact of biocontrol *Pseudomonas fluorescens* CHA0 and a genetically modified derivative on the diversity of culturable fungi in the cucumber rhizosphere. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, p. 1851–1864. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.67.4.1851-1864.2001>. Acesso em: 09 abr. 2023.

GUEDES, B. S.; OLSSON, B. A.; KARLTUN, E. Effects of 34-year-old *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis* plantations on soil carbon and nutrient status in former miombo forest soils. **Global Ecology and Conservation**. v. 8, p. 190-202, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.09.005>. Acesso em: 07 abr. 2023.

HÅKANSSON I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 53, n. 2, p. 71-85. 2000.

HOBBS, P. R.; SAYRE, K.; GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 363 p. 543-555, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>. Acesso em: 15 jun. 2023.

HORN, R.; DOMA, H.; SOWISKA-JURKIEWICZ, A.; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Till Res**, v. 35, p. 23–36. 1995.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Caracterização da Agricultura no Paraná**. Londrina, 1995.

KATAYAMA, N.; OSAWA, T.; AMANO, T.; KUSUMOTO, Y. Are both agricultural intensification and farmland abandonment threats to biodiversity? A test with bird communities in paddy-dominated landscapes. **Agriculture, Ecosystems & Environment** v. 214, 27, p 21–30. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.014>. Acesso em: 17 jun. 2023.

KING, A. E.; CONGREVES, K. A.; DEEN, B.; DUNFIELD, R. P.; VORONEY, R. P.; WING-RIDDLE, C. Quantifying the relationships between soil fraction mass, fraction carbon, and total soil carbon to assess mechanisms of physical protection. **Soil Biology and Biochemistry**, v.

135, p. 95-107, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.019>. Acesso em: 10 ago. 2023.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, v. 12 n. 6, p. 519-539, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.472>. Acesso em: 05 ago. 2023.

LLAUSÀS, A.; RIBAS A.; VARGA, D.; VILA, J. The evolution of agrarian practices and its effects on the structure of enclosure landscapes in the Alt Empordà (Catalonia, Spain), 1957–2001. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, n. 1–3, p 73–86, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.07.005>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MAILLARD, E.; PAYRAUDEAU, S.; FAIVRE, E.; GRÉGOIRE, C.; GANGLOFF, S.; IMFELD, G. Removal of pesticide mixtures in a stormwater wetland collecting runoff from a vineyard catchment. **Sci. Total Environ**, v. 409, p. 2317-2324, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.057>. Acesso em: 15 jul. 2023.

MCNABB, D.H.; STARTSEV, A.D.; NGUYEN, H. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. **Soil Science Society of America Journal**: v. 65, n. 4, p. 1238-1247. 2001.

MUELLER, L.; SCHINDLER, U.; MIRSCHEL, W.; SHEPHERD, T.G.; BALL, B. C.; HELMING, K.; NAWAZ, M.F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agron. Sustain. Dev**, v.33, p. 291–309 2013.

NOURI A.; YOUSSEF F.; BASARAN M.; LEE J.; SAXTON, A. M.; ERPUL, G. The effect of fallow tillage management on aeolian soil losses in semiarid central Anatolia, Turkey. **Agrosystems, Geosciences e Environment**, v.1, n.1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2134/age2018.07.0019>. Acesso em: 14 jul. 2023.

PANAGOS, P.; ROSA, D. D. E.; LIAKOS, L.; LABOUYRIE, M.; BORRELLI, P.; BALLABIO, C. Soil bulk density assessment in Europe, **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 364, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12091365>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **R Ci Agron**. v. 56, p. 40-7. 2013.

PRESCOTT, C. E.; VESTERDAL, L. Decomposition and transformations along the continuum from litter to soil organic matter in forest soils. **Forest Ecology and Management**, v. 498, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119522>. Acesso em: 10 jul. 2023.

PULIDO, M.; SCHNABEL, S.; LAVADO CONTADOR, J.F.; LOZANO-PARRA, J.; GONZÁLEZ, F. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. **Land Degradation & Development**. 2016

SALEM, H. M.; VALERO, C.; MUÑOZ, M. Á.; RODRÍGUEZ, M. G.; SILVA, L.L. Short-term effects of four tillage practices on soil physical properties, soil water potential, and maize yield. **Geoderma**, v. 237–238, p. 60-70, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.014>. Acesso em: 05 abr. 2023.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. V.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1–3, p. 335-356, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0). Acesso em 10 nov. 2022.

SEMPLE, K.T.; REID, B.J.; FERMOR T.R. Review: impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. **Environmental Pollution**. v.112, p. 269-283, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00099-3). Acesso em: 17 jul. 2023.

SHAO G.; AI J.; SUN Q.; HOU L.; DONG Y. Soil quality assessment under different forest types in the Mount Tai, central Eastern China. **Ecological Indicators**, v. 115, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106439>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SILVA J. G. D.; KAGEYAMA A. A.; ROMÃO D. A.; WAGNER NETO J. A.; PINTO, L. C. G. Tecnologia e campesinato: O caso brasileiro. **Revista de Economia Política**, v. 3, n 4., p 135-142, 1983.

SOUZA R.; HARTZELL S.; FREIRE FERRAZ A.P.; ALMEIDA A.Q.; SOUSA LIMA J.R.; ANTONINO A.C.; SOUZA E.S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104768>. Acesso em: 20 ago. 2023.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C; SILVA L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto Stolf - Programa Computacional de dados em EXCEL-VBA **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.38, n.3, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>. Acesso em: 15 jul. 2023.

TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M.D.F.; DECHEN, S.C.F. The costs of soil erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35 p. 287-298, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200001>. Acesso em: 12 jul. 2023.

XIA, J.; REN, J.; ZHANG, S.; WANG, Y.; FANG, Y. Forest and grass composite patterns improve the soil quality in the coastal saline-alkali land of the Yellow River Delta, China. **Geoderma**, v. 349, p. 25-35, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.032>. Acesso em: 12 ago. 2023.

YANG, Y.; WU, J.; ZHAO, S.; HAN, Q.; PAN, X.; HE, F.; CHEN, C. Assessment of the responses of soil pore properties to combined soil structure amendments using X-ray computed tomography. **Scientific Reports**, v. 8, p. 695. 2018.

YU, B.Q.; XIE, C. K.; CAI, S.Z.; CHEN, Y.; LV, Y.P.; MO, Z.L. *et al.* Effects of Tree Root Density on Soil Total Porosity and Non-Capillary Porosity Using a Ground Penetrating Tree Radar Unit in Shanghai, China. **Sustainability**, v. 10, n. 12, p. 4640, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10124640>. Acesso em: 15 ago. 2023.

Recebido em: 14/09/2023

Aprovado em: 29/12/2023