

## Condutividade hidráulica de um Latossolo em diferentes sistemas de uso e manejo do solo

Hydraulic conductivity of a Latosol in different soil use and management systems

Conductividad hidráulica de un Oxisol en distintos sistemas de uso y manejo del suelo

Recebido: 15/11/2022 | Revisado: 30/11/2022 | Aceitado: 03/12/2022 | Publicado: 12/12/2022

**Eduardo André Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1283-1093>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [eduardoagritrop@gmail.com](mailto:eduardoagritrop@gmail.com)

**João Carlos de Souza Maia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6204-8112>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [jotace@terra.com.br](mailto:jotace@terra.com.br)

**Aloísio Bianchini**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1225-453X>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [bianchi@ufmt.br](mailto:bianchi@ufmt.br)

**Bianca Karine Marques Vaz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5836-0557>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [biancavaz1.bv@gmail.com](mailto:biancavaz1.bv@gmail.com)

**Pedro Hugo Almeida Kerkhoff**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9449-6136>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [pedrokerkhoff10@gmail.com](mailto:pedrokerkhoff10@gmail.com)

### Resumo:

A condutividade hidráulica ( $K\theta$ ) é um atributo importante para avaliação da qualidade física do solo. Objetivou-se avaliar a  $K\theta$  de um Latossolo em diferentes sistemas de uso e manejo. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com 10 tratamentos: milho solteiro; milho orgânico; milho (organomineral); milho + biocarvão; mix de plantas de cobertura; milho + braquiária; milho + crotalária; mix de plantas de cobertura + biocarvão; milheto e SPD: mix de plantas de cobertura (milheto + crotalária + braquiária) e 3 repetições. Determinou-se a  $K\theta$  utilizando-se um permeâmetro de mesa. As amostras foram submetidas a colunas de água de 30 mm e as leituras foram registradas com intervalos de 1 hora, por pelo menos 8 horas, ou até atingir a estabilidade. Os sistemas de manejo não afetaram a condutividade hidráulica do Latossolo vermelho-amarelo distrófico solo na camada de 0,00 a 0,10, afetando apenas a camada de 0,10 a 0,20 m. Todos os sistemas de uso e manejo do solo aumentam a condutividade hidráulica do solo na camada de 0,10 a 0,20 m, exceto o Milho + crotalária.

**Palavras-chave:** Qualidade física do solo; Recuperação do solo; Sustentabilidade; Umidade do solo.

### Abstract:

Hydraulic conductivity ( $K\theta$ ) is an important attribute for soil physical quality assessment. The objective was to evaluate the  $K\theta$  of an Oxisol in different systems of use and management. A randomized block design with 10 treatments was used: single corn; organic corn; corn (organomineral); corn + biochar; cover plant mix; corn + brachiaria; corn + sunn hemp; mix of cover crops + biochar; millet and SPD: mix of cover crops (millet + sunn hemp + brachiaria) and 3 replications.  $K\theta$  was determined using a table permeameter. The samples were subjected to 30 mm water columns and the readings were recorded at 1 hour intervals, for at least 8 hours, or until stability was reached. The management systems do not affected the hydraulic conductivity of the soil dystrophic red-yellow Latosol in the layer from 0.00 to 0.10 m, affecting only the layer from 0.10 to 0.20 m. All soil use and management systems increase soil hydraulic conductivity in the 0.10 to 0.20 m layer, except for Corn + sunn hemp.

**Keywords:** Soil moisture; Soil physical quality; Soil recovery; Sustainability.

### Resumen

La conductividad hidráulica ( $K\theta$ ) es un atributo importante para la evaluación de la calidad física del suelo. El objetivo fue evaluar el  $K\theta$  de un Oxisol en diferentes sistemas de uso y manejo. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos: maíz simple; maíz orgánico; maíz (organomineral); maíz + biocarbón; mezcla de plantas de cobertura; maíz + brachiaria; maíz + cáñamo sunn; mezcla de cultivos de cobertura + biocarbón; mijo y SPD: mezcla

de cultivos de cobertura (mijo + cáñamo sunn + brachiaria) y 3 repeticiones.  $K\theta$  se determinó usando un permeámetro de mesa. Las muestras se sometieron a columnas de agua de 30 mm y las lecturas se registraron a intervalos de 1 hora, durante al menos 8 horas o hasta que se alcanzó la estabilidad. Los sistemas de manejo no afectados la conductividad hidráulica del suelo Latosol rojo-amarillo distrófico en la capa de 0.00 a 0.10 m, afectando únicamente la capa de 0.10 a 0.20 m. Todos los sistemas de manejo y uso del suelo aumentan la conductividad hidráulica del suelo en la capa de 0,10 a 0,20 m, excepto Maíz + cáñamo solar.

**Palabras clave:** Calidad física del suelo; Recuperación de suelos; Sustentabilidad; La humedad del suelo.

## 1. Introdução

O conceito de qualidade física do solo (QFS) engloba o conhecimento de propriedades e processos relativos à habilidade do solo em manter, efetivamente, os serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos essenciais à saúde do ecossistema (MEA, 2005), cujo estudo é realizado por meio de indicadores físicos da qualidade do solo, responsáveis pela avaliação da estrutura (Stefanoski, 2013). Esses indicadores são fundamentais para avaliações nas diferentes condições de uso e manejo, e para compreender o processo de degradação do solo (Ramos, 2017)

Um dos indicadores da qualidade física do solo mais importantes é a condutividade hidráulica, que é utilizada para descrever a taxa de infiltração, movimento e transporte de solutos (Blanco-Canqui et al., 2017), assim como a capacidade de retenção de cargas e/ou escoamento superficial no solo (Zhao et al., 2016). A condutividade hidráulica descreve a funcionalidade de seu sistema poroso, contemplando propriedades tais como, quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros (Ellies et al., 1997). Esse indicador é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria lâmina d'água, seja para estudar o transporte de nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos ao ambiente.

A condutividade hidráulica é dependente da forma e continuidade do sistema poroso, sendo um parâmetro que representa a facilidade com que a água se desloca no solo/rocha (Pinheiro et al., 2018), sendo alterada conforme a orientação do solo, sendo mais dependente da estrutura do que da textura do solo. Apesar da textura do solo ser uma propriedade empregada na classificação pedogenética e tem a capacidade de influenciar na condutividade hidráulica, não é um indicador de qualidade recomendado, tendo em vista que essa característica não sofre alterações pelo manejo, inviabilizando comparações (Stefanoski et al., 2013).

A estrutura por sua vez, é modificada nos diferentes sistemas de manejo e uso do solo. Nesse sentido, a determinação da condutividade hidráulica é fundamental para avaliar os diferentes sistemas de uso e manejo na dinâmica da água no solo (Qiao et al., 2018). Existem sistemas de uso e manejo que afetam negativamente a estrutura do solo, expondo aos fatores abióticos, promovendo a perda da sua qualidade física, ocasionando erosão, perda de nutrientes, adensamento das camadas e redução da condutividade hidráulica do solo (Ramos et al., 2017).

Alguns estudos demonstram que o sistema de cultivo convencional melhora a condutividade hidráulica do solo no curto prazo, tendo em vista que com o revolvimento do solo, a quantidade de macroporos aumenta, entretanto a estrutura de microporos fica comprometida. Além disso, o uso contínuo do cultivo convencional realizado com aração e gradagem resulta em solos mais densos e compactados, com sérias restrições físicas, resultando em maior desagregação de partículas na cama mobilizada e compactação abaixo dessa camada, afetando o desenvolvimento das culturas (Henrique et al., 2018). Stefanoski et al. (2013), afirma que a compactação do solo pelo uso de maquinário, é a principal causa da degradação física dos solos agrícolas.

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. A compactação por sua vez, pode elevar a densidade e reduzir o volume de poros do solo, resultando em aumento da erosão, redução da infiltração e perda da condutividade hidráulica, o que

pode ser constatado em diversas literaturas (Ellies et al., 1997; Shi et al., 2012; Horel et al., 2015; Alagna et al., 2018; Elhakeem et al., 2018; Haruna et al., 2018). A compactação é uma alteração estrutural que promove a reorganização das partículas e de seus agregados, podendo limitar a absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da condutividade hidráulica e da produtividade das culturas (Araldi et al., 2016).

Por outro lado há sistemas desenvolvidos com o intuito de reduzir o impacto produtivo no ambiente, como é o caso do sistema de plantio direto ou de cultivo mínimo e os sistemas de produção consorciados. Para Gazzola et al. (2015), a adoção de sistemas consorciados de produção agropecuária em solos arenosos promove a manutenção de resíduos vegetais em superfície, melhorando a qualidade física, química e biológica do solo. Liu et al. (2017), ressaltam que sistemas de uso e manejo do solo que promovem aportes e manutenção de matéria orgânica no sistema podem interceptar melhor a chuva, promovendo melhor infiltração da água da chuva, evitando o escoamento e a perda de solo. De acordo com Silva et al. (2021b), a manutenção da cobertura morta em superfície pode favorecer o aumento da taxa de infiltração de água no solo.

Essa tendência também foi observada por Cui et al. (2021) que avaliando a infiltração e o teor de água no solo coberto por serapilheira, constataram que a manutenção da matéria orgânica do solo aumentou a taxa de infiltração de água no solo de 215 a 280%. Silva et al. (2021b), avaliando a qualidade física de um Neossolo Regolítico sob sistema de integração lavoura-pecuária em Lagoa Seca, no Agreste Paraibano, verificaram valores de condutividade hidráulica variando de 6,92 a 40,63 cm h<sup>-1</sup> para a camada de 0,00 a 0,10 m, sendo respectivamente para os tratamentos pastagem com capim Massai e floresta. Já para a camada de 0,10 a 0,20 m os valores variaram de 5,49 a 22,46 cm h<sup>-1</sup> sendo respectivamente para os tratamentos milho solteiro e floresta.

Considerando-se que o recurso solo é limitado e que alguns de seus componentes requerem períodos de tempo prolongados para serem restaurados, pesquisas avaliando a condutividade hidráulica dos sistemas de manejo e uso do solo com o intuito de reduzir o impacto ambiental e garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção, são fundamentais. Objetivou-se avaliar a condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

## 2. Metodologia

O estudo foi realizado em uma área experimental na Fazenda Estância Muller, localizada no município de Nova Xavantina, MT, nas coordenadas de 14°45'52,41" de Latitude Sul e 52°21'52,68" de Longitude Oeste de Greenwich, altitude de 326 m. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo com textura franco argilo arenosa (Santos et al., 2018). Realizou-se a caracterização química e granulométrica do solo (Quadro 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por duas estações bem definidas: seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), com precipitação e temperatura média anual de 1.520 mm e 24,8 °C, respectivamente, sendo as médias mensais mínimas de 10 °C e máximas de 37,4 °C (Marimon et al., 2010). O experimento foi realizado durante o período de novembro a dezembro de 2021.

**Tabela 1** - Análise químico-granulométrica do solo da camada de 0,00 a 0,20 m da área experimental.

pH	Ca + Mg	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	K <sup>+</sup>	P	V	m	MO	Areia	Silte	Argila	
H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	cmolc dm <sup>-3</sup>				cmolc dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>		%			g kg <sup>-1</sup>			
6,40	5,90	2,87	2,29	0,88	0,00	2,90	3,30	6,20	55,00	16,40	50,20	0,00	14,90	75,79	0,91	23,30

pH: CaCl<sub>2</sub>; P e K<sup>+</sup>: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al: Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al: Extrator SMP; MO: oxidação Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0.67 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 mol L<sup>-1</sup>; Areia, silte, argila: Método da pipeta. Fonte: Autores.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com dez tratamentos e três repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. Os tratamentos são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Sistemas de uso e manejo do solo em Nova Xavantina, MT.

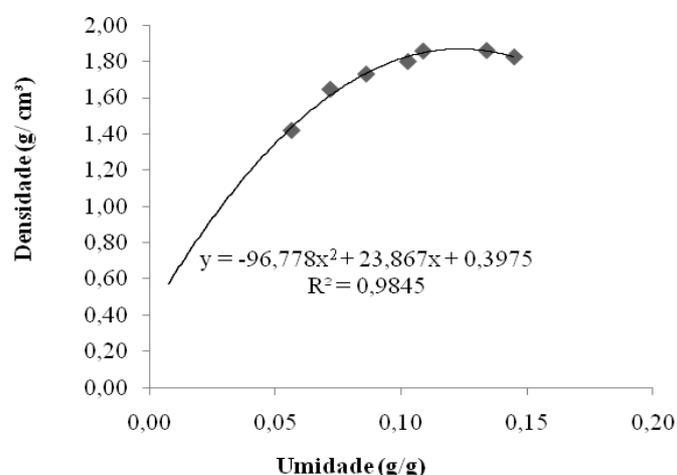
Tratamentos (T)
T1: Milho solteiro + adubação convencional
T2: Milho orgânico
T3: Milho organomineral
T4: Milho + biocarvão
T5: Mix de plantas de cobertura (milheto+crotalária+braquiária)
T6: Milho + braquiária
T7: Milho + crotalária
T8: Mix cobertura (milheto+crotalária+braquiária) + biocarvão
T9: Milheto
T10: PD + Mix cobertura

Fonte: Autores.

Os tratamentos foram implantados no ano 2017/2018, e avaliados até a safra 2020/2021, sendo implantados após a colheita da soja. Anteriormente cultivava-se soja, milho e algodão na área em sistema de sucessão de cultivos. No tratamento 'Mix de plantas de cobertura' foi realizada uma mistura de sementes de nabo forrageiro, milheto, crotalária *braviflora* e de *Brachiaria ruziziensis*, utilizando-se 2,50; 4,50; 6,25 e 2,50 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para cada cultura. O biocarvão é oriundo da cinza do bagaço de cana. No tratamento Milho organomineral aplicou-se fertilizante organomineral composto por 1.000 kg de resíduos de confinamento bovino e 2,50 kg de Yoorin® Master.

Abaixo, as curvas do ensaio de Proctor normal mostram a densidade máxima do solo (g/cm<sup>3</sup>) em relação a umidade do solo (g/g), antes da implantação do experimento em Nova Xavantina-MT (Figura 1). A densidade máxima do solo foi de 1,87 g/cm<sup>3</sup> quando o mesmo atinge um teor de umidade de 0,12 g/g, sendo que esses valores estão compatíveis com a textura do solo do presente estudo. De acordo com Kiehl (1979), a densidade do solo pode apresentar valores superiores a 1,6 mg/m<sup>-3</sup> em solos de textura arenosa. Essa curva permite inferir a umidade do solo, caso o solo esteja com umidade elevada para trafegabilidade, pode ocasionar o aumento da densidade do solo e a derrapagem dos rodados, processo que pode impactar a compactação do solo e a condutividade hidráulica do solo.

**Figura 1** - Curva de compactação do solo antes da implantação do experimento em de Nova Xavantina/MT, 2021.



Fonte: Autores.

Para determinação da condutividade hidráulica do solo, foram coletadas 2 amostras indeformadas em pontos centrais da parcela, nas entrelinhas, com auxílio do amostrador de Kopeck com anéis com volume de 100 cm<sup>3</sup>, em duas profundidades amostrais, de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m em todas as parcelas experimentais, quando as culturas estavam em estágio pleno de desenvolvimento, próximo à época de floração, em malha regular amostrar com 100 metros de distância entre os pontos. Para a coleta de amostras deformadas, utilizou-se um trado holandês. Todo processo foi realizado de acordo com o manual de procedimento para coletas de amostra de solos (Embrapa, 2017).

Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada para determinação da condutividade hidráulica, que foi feita através de ensaios utilizando um permeâmetro de mesa (Embrapa, 2017). Sendo que as amostras foram submetidas a colunas de água de cerca de 30 mm e as leituras foram feitas e registradas com intervalos de 1 hora, por pelo menos 8 horas, ou até que os valores apresentassem estabilidade.

As curvas de compactação dos solos amostrados foram determinadas utilizando-se da metodologia do Proctor Normal, obtendo os valores máximos da densidade do solo em função do teor de umidade do mesmo (ABNT, 2016).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a normalidade dos resíduos da ANOVA, os quais tiveram que passar por transformação logarítmica para seguir a distribuição normal. Atendida a essa pressuposição da estatística paramétrica, aplicou-se a análise da variância (ANOVA), seguida do teste de t de Student para comparações entre as médias ( $\alpha = 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico Sisvar<sup>®</sup> (Ferreira, 2019).

### 3. Resultados e Discussão

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo promoveram alterações na condutividade hidráulica do solo na camada de 0,10 a 0,20 m (Tabela 3). Os maiores valores de condutividade hidráulica na camada de 0,10 a 0,20 cm foram verificados para os tratamentos Milho solteiro com adubação convencional, Milho orgânico, Milho organomineral, Milho + biocarvão, Mix de plantas de cobertura, Milho + braquiária, Mix de plantas de cobertura + biocarvão, Milheto e Plantio direto: Mix de plantas de cobertura (Milheto + Crotalária + Nabo + braquiária).

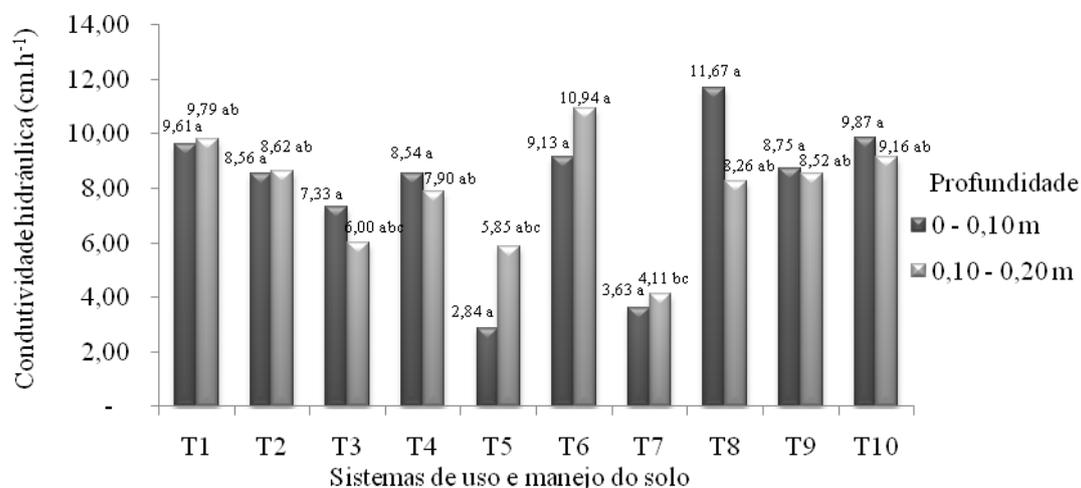
**Tabela 3** - Condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ ) média do solo em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em diferentes profundidades em Nova Xavantina, MT.

Sistemas de Uso e Manejo do solo	Condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ )	
	Profundidades	
	0 - 0,10 m	0,10 - 0,20 m
T1: Milho solteiro + adubação convencional	9,61 a	9,79 ab
T2: Milho orgânico	8,56 a	8,62 ab
T3: Milho organomineral	7,33 a	6 abc
T4: Milho + biocarvão	8,54 a	7,9 ab
T5: Mix de plantas de cobertura	2,84 a	5,85 abc
T6: Milho + braquiária	9,13 a	10,94 a
T7: Milho + braquiária.	3,63 a	4,11 bc
T8: Mix cobertura + biocarvão	11,67 a	8,26 ab
T9: Milheto	8,75 a	8,52 ab
T10: PD + Mix cobertura	9,87 a	9,16 ab
Média	7,73	7,66
C.V. (%)	85,64	45,69

Médias seguidas por letras iguais comparando os sistemas de uso e manejo do solo não diferem pelo Teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade. C.V. (%): Coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Na camada de 0,10 a 0,20 m foram verificados valores intermediários para os tratamentos Milho solteiro com adubação convencional; Milho orgânico; Milho organomineral; Milho + biocarvão; Mix de plantas de cobertura; Milho + crotalária; Mix de plantas de cobertura + biocarvão; Milheto e Plantio direto: Mix de plantas de cobertura (Milheto + crotalária + nabo + braquiária) (Figura 2). Os menores valores de condutividade hidráulica verificados nas camadas de 0,10 a 0,20 m foram nos tratamentos Milho organomineral; Mix de plantas de cobertura e Milho e crotalária. Esses menores valores podem ser atribuídos a presença de camada compactada e coesa, a qual apresenta redução da porosidade total de forma significativa (Fontana et al., 2016).

**Figura 2** - Condutividade hidráulica ( $\text{cm h}^{-1}$ ) média do solo em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em diferentes profundidades em Nova Xavantina, MT.



Médias seguidas por letras iguais comparando tratamentos não diferem pelo Teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Os maiores valores de condutividade hidráulica encontrados para os tratamentos com mix de plantas gramíneas e leguminosas já eram esperados, tendo em vista que as leguminosas têm sistema radicular profundo e vigoroso o que contribui para o aumento dos bioporos e da matéria orgânica, o que reduz a densidade do solo e reduz a porosidade total, e por consequência, aumenta a condutividade hidráulica em profundidade. As gramíneas por sua vez apresentam um sistema radicular fasciculado, formando um emaranhado de bioporos após a senescência destas raízes nas camadas de subsuperfície do solo (Silva et al., 2022).

A condutividade hidráulica encontrada no presente trabalho pode ser classificada como moderadamente lenta para os tratamentos Mix de plantas em cobertura e Milho + crotalária, os demais tratamentos apresentaram condutividade hidráulica moderada (Pereira et al., 2020). Com base na classificação estabelecida por este último autor, a condutividade hidráulica é classificada em muito lenta ( $<0,1 \text{ cm h}^{-1}$ ), lenta ( $0,1 \text{ a } 0,5 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderadamente lenta ( $0,6 \text{ a } 2 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderada ( $2,10 \text{ a } 6,00 \text{ cm h}^{-1}$ ), moderadamente rápida ( $6,10 \text{ a } 12,00 \text{ cm h}^{-1}$ ), rápida ( $12,10 \text{ a } 18,00 \text{ cm h}^{-1}$ ) e muito rápida ( $>18,10 \text{ cm h}^{-1}$ ).

De acordo com Silva et al. (2022) o uso de diferentes espécies de cobertura, que exploram um volume maior de solo, permite o rompimento das camadas subsuperficiais do solo, as quais são consideradas mais críticas, devido a concentração das deformações impostas pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Ruffato et al. (2019) ressalta que uma das formas de reduzir os efeitos negativos da compactação do solo, tem sido o uso de diferentes espécies de cobertura do solo, com sistemas radiculares que exploram diferentes profundidades, que são capazes de reduzir a densidade e aumentar o espaço poroso do solo. Avaliando a influência de *Brachiaria decumbens* em Nitossolo Vermelho de Textura argilosa, Hara et al. (2019) constataram que essa espécie de cobertura aumentou a condutividade hidráulica em solo saturado em três vezes, após o ciclo da cultura.

Na camada 0,0 a 0,10 m não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo e uso do solo. Esses resultados demonstram que durante o período avaliado essa variável não foi sensível na detecção de mudanças. Provavelmente esses resultados são reflexos da estrutura do solo e da elevada porosidade encontrada nessa camada, decorrente do revolvimento mecânico do solo, que é necessário no momento da implantação das culturas e considerando-se, ainda, que a camada superficial do solo sofre de forma acentuada as variações das condições do ambiente, como insolação, pluviosidade ou períodos de estiagem prolongados. De acordo com Silva et al. (2022), a condutividade hidráulica é sensível as mudanças abruptas de macroporosidade no solo, o que justifica uma maior variação dos valores de condutividade hidráulica nas camadas mais superficiais.

Contrariamente aos resultados encontrados, Silva et al. (2021b) avaliando a qualidade física de um Neossolo Regolítico sob sistema de Integração Lavoura-Pecuária verificaram diferenças significativas para a camada de 0,00 a 0,10 m, e não constataram diferenças para a camada de 0,10 a 0,20 m. Estes autores constataram valores de condutividade hidráulica variando de 6,92 a 40,63  $\text{cm h}^{-1}$  para a camada de 0,00 a 0,10 m, sendo respectivamente para os tratamentos Pastagem com capim Massai e Floresta. Já para a camada de 0,10 a 0,20 m os valores variaram de 5,49 a 22,46  $\text{cm h}^{-1}$  sendo respectivamente para os tratamentos Milho solteiro e Floresta. De acordo com esses autores essas diferenças devem-se a estrutura do solo e da elevada porosidade total encontrada na superfície desses solos. De acordo com Silva et al. (2018) há uma estreita relação entre a condutividade hidráulica e a textura do solo.

Fontana et al. (2016) avaliando os efeitos de diferentes usos da terra nas características e nos atributos físicos de Latossolos em Luís Eduardo Magalhães, no Oeste da Bahia, constataram que a condutividade hidráulica dos solos sob algodão e feijão foram significativamente menores na superfície, em comparação a área sob plantio direto de soja que apresentou valores intermediários, e as áreas de cerrado, que apresentou os maiores valores. Esses autores verificaram que a condutividade hidráulica diminuiu em profundidade, em todos os tipos de uso do solo, exceto com feijão irrigado (Fontana et al., 2016).

Rocha et al. (2019) determinando a variabilidade espacial da condutividade hidráulica em uma bacia hidrográfica de recarga do Sistema Aquífero Guarani, afirmam que os diferentes usos da terra influenciaram na condutividade hidráulica, mesmo em solos semelhantes, encontrando valores variando de 1,01 a 9,53 cm h<sup>-1</sup>, sendo esses valores inferiores, aos valores mínimos encontrados no presente estudo, que foram de 2,84 cm h<sup>-1</sup>, no tratamento Mix de plantas de cobertura.

Silva et al. (2022) avaliando o impacto do cultivo de plantas de cobertura na estrutura de um Latossolo argilosos sob sistema plantio direto e os seus reflexos no rendimento de grãos de milho em Santa Tereza do Oeste, Paraná, constataram que na camada de 0,00 a 0,10 m, antes do cultivo do milho, que o tratamento com maior média foi o tratamento com a cultura do centeio (34,66 cm h<sup>-1</sup>), os quais não diferiram de aveia preta (6,53 cm h<sup>-1</sup>), aveia preta + nabo forrageiro (15,95 cm h<sup>-1</sup>) aveia preta + ervilha forrageira (10,61 cm h<sup>-1</sup>) e sistema de Plantio Direto Tradicional (9,88 cm h<sup>-1</sup>) e diferenciou-se de aveia branca (1,15 cm h<sup>-1</sup>) e aveia preta + tremoço branco (1,67 cm h<sup>-1</sup>). Para a camada de 0,10 a 0,20, Silva et al. (2022) observaram que os tratamentos com centeio proporcionou aumento da média de 6,97 para 25,34 cm h<sup>-1</sup> demonstrando que algumas culturas por meio do sistema radicular, conseguem alterar as condições físicas do solo.

Na média geral dos tratamentos, constatou-se que a condutividade hidráulica não variou conforme o aumento da profundidade, sendo de 7,73 e 7,66 cm h<sup>-1</sup>, respectivamente para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. De modo similar, Silva et al. (2021a) avaliando o comportamento físico-hídrico do solo em um sistema de integração ILPF implantado a 4 anos no semiárido Brasileiro, não observaram diferença significativa entre os sistemas avaliados, sendo que os valores variaram de 5,31 a 14,61 cm h<sup>-1</sup> nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 3,15 a 6,32 cm h<sup>-1</sup> na camada de 0,10 a 0,20 m, ficando dentro da faixa de valores observadas no presente estudo, que variaram de 2,84 a 11,67 cm h<sup>-1</sup>.

Por outro lado, Silva et al. (2022) verificaram que na média geral, houve redução na condutividade hidráulica à medida a profundidade do solo aumentou, reduzindo de 10,90 para 7,30 cm h<sup>-1</sup>, respectivamente para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. De modo semelhante, Sales et al. (2018) avaliando a qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta observaram redução da condutividade hidráulica com elevação da profundidade da camada de solo avaliada, sendo que essa tendência pode ser justificada pela redução na atividade dos microorganismos em subsuperfície. Primo et al. (2015) também constataram que a condutividade hidráulica tende a diminuir com o aumento da profundidade do solo.

Andrade et al. (2020) avaliando as modificações ocasionadas pelos sistemas cerrado nativo (sem intervenções antrópicas), sistema agroflorestal e área com pastagem nos atributos de um Latossolo Vermelho localizado em Goiânia – GO, observaram redução da condutividade hidráulica conforme o aumento da profundidade do solo, constatando maiores valores na camada de 0,00 a 0,10 m (7,42 cm h<sup>-1</sup>) para o sistema com cerrado nativo, já o sistema agroflorestal apresentou valores intermediários (5,61 cm h<sup>-1</sup>), sendo maiores do que os valores encontrados para o tratamento com pastagem (1,71 cm h<sup>-1</sup>), que apresentou o menor valor de condutividade hidráulica, sendo justificado pelo pisoteio animal na superfície do solo. Já na camada de 0,10 a 0,20 m, esses autores não constataram diferenças de condutividade hidráulica entre os sistemas avaliados (Andrade et al., 2020).

O Coeficiente de Variação (CV) dos resultados obtidos foi elevado, variando de 85,64 a 45,69%, respectivamente para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Silva et al. (2022) também constataram que o CV variou de 109,05 a 125,39% entre os tratamentos estudados. Silva et al. (2021b) verificaram CV variando de 51,04 e 60,58%, respectivamente para as profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. Essa variação ocorre devido a heterogeneidade dos dados, entretanto essa variação é comum para essa variável (Fontana et al., 2016). Na prática, muitas medidas de condutividade hidráulica são requeridas para caracterizar um solo, devido à grande variabilidade espacial desta propriedade onde até mesmo a menor variação na estrutura do solo, implica em mudanças abruptas nesse parâmetro. De acordo com Mesquita e Moraes (2004), os CV's dos métodos de determinação da condutividade hidráulica dos solos são maiores que 70%.

As diferenças obtidas para a condutividade hidráulica nos diferentes sistemas de uso e manejo do solo podem ser atribuídas às características morfo-estruturais, como por exemplo, o grau de estruturação e a qualidade e estabilidade dos agregados, as quais podem não apresentar diferenças significativas a curto e médio prazo. Evidentemente, não se quer dizer que não esteja ocorrendo mudanças no solo, em cada sistema de uso e manejo alterações ocorrem com maior ou menor intensidade, todavia, o tempo para que tais diferenças se manifestem é variável. De acordo com Haruna et al. (2020) as plantas de cobertura podem exigir mais de dois anos de cultivos para que seus benefícios sejam verificados na condutividade hidráulica do solo, entretanto dependendo das espécies utilizadas, melhorias podem ser observadas em períodos menores de cultivo.

Cardoso et al. (2013) avaliando o potencial de espécies de plantas de cobertura no condicionamento dos atributos químicos e físicos do solo, em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico no município de Lavras - MG, em uma área cultivada com *Crotalaria juncea*, feijão-de-porco e milheto, nos espaçamentos de 0,25 a 0,50 m, demonstrou que apenas a *Crotalaria juncea* no espaçamento de 0,25 modificou a condutividade hidráulica do solo de 22,5 para 6,36 cm h<sup>-1</sup> em 135 dias de cultivo, indicando uma condutividade hidráulica moderada. Além da utilização de espécies adequadas, o manejo do solo é fundamental para manter uma boa condutividade hidráulica, diminuindo o escoamento superficial, melhorando a qualidade da água e reduz a erosão do solo (Çerçioğlu et al., 2019).

De acordo com Fontana et al. (2016) a intensificação de uso dos solos agrícolas promovem mudanças nas características e nos atributos físicos do solo, como o aparecimento de camadas compactadas, destacado pela elevada coesão seca e altos valores da densidade do solo, como potencial de limitar o desenvolvimento radicular, reduzir taxas de infiltração e da condutividade hidráulica do solo. Essa tendência pode ser agravada quando trabalhamos com solos de textura arenosa ou muito arenosa, que apresentam elevada susceptibilidade a erosão (hídrica e eólica) e a lixiviação de nutrientes aplicados a ele e a redução dos estoques de C por sua estrutura física mais fragilizada (Fontana et al., 2016).

Além da estrutura, a cobertura vegetal pode influenciar em alguns atributos do solo. A cobertura influencia na taxa de infiltração e na condutividade hidráulica pela redução da compactação superficial (McIntyre, 1958). De acordo com Parron (2015), a presença de vegetação mais densa e detritos orgânicos sobre o solo, além de auxiliar na infiltração de água, promove a retenção e deposição de sedimentos transportados nas águas que escoam em superfície.

Dentre as funções da palhada, pode-se citar a redução das perdas de solo e água pela erosão, a diminuição do impacto da chuva no solo evitando a desagregação das partículas, o aumento da infiltração da água no solo, a proteção do solo contra a compactação, a diminuição das perdas de água por evaporação, menor amplitude térmica no solo proporcionando maior umidade nas camadas superficiais do solo e disponibilidade hídrica para as plantas, e reciclagem de nutrientes (Bertol et al., 2001).

Esperava-se que os sistemas consorciados apresentassem maiores valores de condutividade hidráulica, tendo em vista que na região da rizosfera a condutividade hidráulica é superior ao restante do solo (Carminati & Vetterlein, 2013), devido à presença de mucilagem radicular (Carminati et al., 2011), que favorece o fluxo de água do solo às raízes em condições de baixa disponibilidade hídrica (Carminati & Vetterlein, 2013).

A adoção de sistemas de produção que favoreçam a conservação do solo tendem a aumentar a condutividade hidráulica próximo à superfície do solo, que quando aliada a composição granulométrica e ao teor de matéria orgânica, favorecem maior retenção e disponibilidade de água para as plantas (Silva et al., 2017).

#### 4. Conclusão

A condutividade hidráulica do Latossolo vermelho-amarelo foi afetada pelos sistemas de manejo, apenas na camada entre 0,10 e 0,20 m.

Todos os sistemas de uso e manejo do solo aumentaram a condutividade hidráulica do solo na camada de 0,10 a 0,20 m, em relação à camada de 0,00 a 0,10 m de profundidade, com exceção do tratamento Milho + crotalária.

#### Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2016). *NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 9p.
- Alagna, V., Di Prima, S., Rodrigo-Comino, J., Lovino, M., Pirastru, M., Keesstra, S., Novara, A. & Cerdà, A. (2017). The impact of the age or vines on soil hydraulic conductivity in vineyards in eastern Spain. *Water*, Basileia, 10, (14). 10.3390/w10010014.
- Andrade, C. A. O., Silva, G. C., Corrêa, M. C., Collier, L. S., & Correche, V. (2020). Condutividade hidráulica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo no Cerrado Goiano. *Agrarian*, Dourados, 13(49), 385-392. 10.30612/agrarian.v13i49.9519.
- Araldi, D. A., Yamashita, O. M., Carvalho, M. A. C., Campos, O. R., Roque, C. G., & Dallacort, R. (2016). Effect of sowing depth and presence of straw on the substrate in the emergence of *Crotalaria juncea*. *Ambiência*, Guarapuava, 12(2), 525–538. 10.5935/ambiencia.2016.02.02
- Bertol, I., Beutler, J. F., Leite, D., & Batistela, O. (2001). Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 58(3), 555-560. 10.1590/S0103-90162001000300018
- Blanco-Canqui, H., Wienhold, B. J., Jin, V. L., Schmer, M. R., & Kibet L. C. (2017). Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil and Tillage Research*, 170, 38-42. 10.1016/j.still.2017.03.001
- Cardoso, D. P., Silva, M. L., Carvalho, G. J., Freitas, D. A., & Avanzi, J. C. (2013). Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(3), 375-382. 10.5039/agraria.v8i3a2421
- Carminati, A., Schneider, C. L., Moradi, A. B., Zarebanadkouki, M., Vetterlein, D., Vogel, H. J., Hildebrandt, A., Weller, U., Schüller, L., & Oswald, S. E. (2011). How the rhizosphere may favor water availability to roots. *Vadose Zone Journal*, 10, 988-998. 10.2136/vzj2010.0113
- Carminati, A., & Vetterlein, D. (2013). Plasticity of rhizosphere hydraulic properties as a key for efficient utilization of scarce resources. *Annals of Botany*, 112, 277-290. 10.1093/aob/mcs262
- Cui, Z., Huang, Z., Luo, J., Quiu, K., López-Vicente, M., & Wu, G. L. (2021). Litter cover break soil water repellence of biocrusts, enhancing initial soil water infiltration and content in a semi-arid sandy land. *Agricultural Water Management*, 255, 107009. 10.1016/j.agwat.2021.107009
- Çerçioğlu, M., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., & Alagele, S. (2019). Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. *Geoderma*, 343, 247-253. 10.1016/j.geoderma.2019.02.027
- Elhakeem, M., Papanicolaou, A. N. T., Wilson, C. G., Chang, Y., Burras, L., Abban, B., Wysocki, D. A., & Wills, S. (2018). Understanding saturated hydraulic conductivity under seasonal changes in climate and land use. *Geoderma*, 315, 75-87. 10.1016/j.geoderma.2017.11.011
- Ellies, A., Grez, R., & Ramirez, C. (1997). La conductividad hidráulica em fase saturada com herramienta par el diagnostico de la estructura del suelo. *Agro Sur*, 5, 51-56. 10.4206/agrosur.1997.v25n1-06
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017). Manual de métodos de análise de solo. (3ª. ed.) rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA.
- Ferreira, D. F. (2019). Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, 37(4), 529-535. 10.28951/rbb.v37i4.450
- Fontana, A., Teixeira, W. G., Balieiro, F. C., Moura, T. P. A., Menezes, A. R., & Santana, C. I. (2016). Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1457-1465. 10.1590/S0100-204X2016000900044
- Gazolla, P. R., Guareschi, R. F., Perin, A., Pereira, M. G., & Rossi, C. Q. (2015). Frações de matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(2), 693-704. 10.5433/1679-0359.2015v36n2p693
- Hara, A. T., Domingues, J. V. S., Gonçalves, A. C. A., Santos, F. A. S., Hashiguti, H. T., & Rezende, R. (2019). Condutividade hidráulica em função do crescimento de *Urochloa decumbens*. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13(3), 3454-3466. 10.7127/rbai.v13n301066
- Haruna, S. I., Anderson, S. H., Nkongolo, N. V., & Zaibon, S. (2018). Soil hydraulic properties: Influence of tillage and cover crops. *Pedosphere*, 28(3), 430-442. 10.1016/S1002-0160(17)60387-4
- Haruna, S. I., Anderson, S. H., Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Phillips, N. C., Cui, S., & Gao, Y. (2020). Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3(1), p.e20105. 10.1002/agg2.20105
- Henrique, N. S., Schlindwein, J. A., & Pereira, E. C. F. (2018). Sistemas e sucessões de cultivos na fertilidade de um solo da região da Amazônia. *Revista em Agronegócio e Ambiente*, 11(3), 863-877. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n3p863-877

- Horel, A., Tóth, E., Gelybó, G., Kása, I., Bakacsi, Z., & Farkas, C. (2015). Effects of land use and management on soil hydraulic properties. *De Gruyter – Open Geosciences*, (7), 742-754. 10.1515/geo-2015-0053
- Kiehl, E. J. (1979). *Manual de edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Liu, W., Luo, Q., Lu, H., Wu, J., & Duan, W. (2017). The effect of litter layer on controlling surface runoff and erosion in rubber plantations on tropical mountain slopes, SW China. *Catena*, 149, 167-175. 10.1016/j.catena.2016.09.013
- Marimon, B. S., Felfili, J. M., Lima, E. S., Duarte, W. M. G., & Marimon-Junior, B. H. (2010). Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazônia boundaries in Brazil, 40, 107-118. 10.1590/S0044-59672010000100014
- Mcintyre, D. S. (1958). Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Science*, 85, 185-189.
- MEA - Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and human well-being: Synthesis*. Washington: Island Press.
- Mesquita, M. G. B., & Moraes, S. O. (2004). A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Revista Ciência Rural*, 34(3), 963-969. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000300052>
- Parron, L. M., Garcia, J. J., Oliveira, E. B., Brown, G. G., & Prado, R. B. (2015). *Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica*. Embrapa, Brasília.
- Pereira, M. G., Ravelli Neto, A., Anjos, L. H. C., Ceddia, M. B., & Schultz, N. (2020). *Práticas de morfologia e física do solo*. Seropédica: Ed. da UFRRJ.
- Pinheiro, R. J. B., Nummer, A. V., Baroni, M., & Schneider, I. T. (2018). Avaliação da Condutividade Hidráulica das Unidades Geológico-Geotécnicas de Santa Maria (RS) com a Utilização de Piezômetros. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 41(1), 212-221. [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_1\\_212\\_221](http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_212_221)
- Primo, J. T. A., Silva, T. G. F., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B., & Souza, L. S. B. (2015). Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, 62(1), 20-29. 10.1590/0034-737X201562010003
- Qiao, J.; Zhu, Y., Jia, X., Huang, L., & Mingan, S. (2018). Estimating the spatial relationships between soil hydraulic properties and soil physical properties in the critical zone (0–100 m) on the Loess Plateau, China: a state-space modeling approach. *Catena*, v.160, p.385-393. 10.1016/j.catena.2017.10.006
- Ramos, M. R., Dedecek, R. A., Silva, R. R., & Freire, T. M. (2017). Atributos físicos do solo no horizonte superficial em diferentes usos. *Revista Agri-Environmental Sciences*, 3(1). <https://doi.org/10.36725/agries.v3i1>
- Rocha, R. E., Gastmans, D., Sacchi, M. D., & Oliveira, M. D. (2019). Variações espaciais na K<sub>θ</sub> do solo em área de recarga do sistema aquífero Guarani. *Revista do Instituto Geológico*, 40(2), 35-51. 10.33958/revig.v40i2.646
- Ruffato, G. G., Secco, D., Zanão Junior, L. A., Tokura, L. K., Marins, A. C., Villa, B. D., & Nascimento, L. F. J. (2019). Structuring of a haplortox by cover crops and their effects on the yield of soybean grains. *Journal of Agricultural Science*, 11(5) 309-313. 10.5539/jas.v11n5p309
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. Á., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa.
- Sales, A., Silva, A. R., Velozo, C. A. C., Carvalho, E. J. M., & Miranda, B. M. (2018). Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. *Colloquium Agrariae*, 14(1), 1-15. 10.5747/ca.2018.v14.n1.a185
- Shi, X. H., Yang, X. M., Drury, C. F., Reynolds, W. D., McLaughlin, N. B., & Zhang, X. P. (2012). Impact of ridge tillage on soil organic carbon and selected physical properties of a clay loam in southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research*, 120, 1-7. 10.1016/j.still.2012.01.003
- Silva, E. L., Secco, D., Marins, A. C., Marins, Bassegio, D., & Castro, M. B. S. (2022). Características físicas do solo e rendimento de grãos de milho em função de culturas de cobertura. *Research, Society and Development*, 11(1), e21511124823. 10.33448/rsd-v11i1.24823
- Silva, M. P., Arf, o., Sá, M. E., Abrantes, F. L., Berti, C. L. F., & Souza, L. C. D. (2017). Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(1), 60-67. 10.5039/agraria.v12i1a5424
- Silva, P. L. F., Oliveira, F. P., Amaral, A. J., Martins, A. F., Pereira, W. E., Tavares, D. D., & Nóbrega, C. C. (2021a). Sistemas integrados de produção agropecuária: Efeitos sobre a qualidade física de um planossolo no semiárido Brasileiro. *Ciencia del Suelo*, 39(2), 307-322.
- Silva, P. L. F., Oliveira, F. P., Pereira, W. E., Martins, A. F., Zonta, J. H., Amaral, A. J., Tavares, D. D., & Silva, A. J. (2021b). Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração Lavoura-Pecuária. *Bioeng*, 15(4), 598-616. 10.18011/bioeng2021v15n4p598-616
- Silva, P. L. F., Oliveira, F. P., Borba, J. O. M., Tavares, D. D., Amaral, A. J., & Martins, A. F. (2018). Solos arenosos para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Arez, Rio Grande do Norte. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 13(5), 581-589. 10.18378/rvads.v13i5.6246
- Stefanoski, D. C. S. G. G., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Pacheco, L. P. (2013). Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(12), 1301-1309. 10.1590/S1415-43662013001200008
- Zhao, C., Shao, M., Jia, X., Nasir, M., & Zhang, C. (2016). Using pedotransfer functions to estimate soil hydraulic conductivity in the Loess Plateau of China. *Catena*, 143, 1-6. 10.1016/j.catena.2016.03.037