

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA  
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Letícia Rodrigues Lopes

**ATRIBUTOS FÍSICOS EM SOLOS COM DIFERENTES USOS NO IFMG, *CAMPUS*  
SÃO JOÃO EVANGELISTA**

São João Evangelista

2026

LETÍCIA RODRIGUES LOPES

**ATRIBUTOS FÍSICOS EM SOLOS COM DIFERENTES USOS NO IFMG, *CAMPUS*  
SÃO JOÃO EVANGELISTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan

São João Evangelista

2026

---

L864a Lopes, Leticia Rodrigues.

Atributos físicos em solos com diferentes usos no IFMG, *Campus*  
São João Evangelista / Leticia Rodrigues Lopes – 2026.

28 f.: il.

Orientador: Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) –  
Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2026.

1. Uso do solo. 2. Qualidade física do solo. 3. Densidade do solo.  
4. Porosidade. 5. Sistema agroflorestal. I. Lopes, Leticia Rodrigues. II.  
Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.


CDD 631.4

Letícia Rodrigues Lopes

**ATRIBUTOS FÍSICOS EM SOLOS COM DIFERENTES USOS NO IFMG, *CAMPUS*  
SÃO JOÃO EVANGELISTA**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Aprovado em 05 / 02 /2026 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN  
Data: 06/02/2026 08:52:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. Ivan da Costa Ilhéu Fontan - IFMG  
(Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 RAFAEL CARLOS DOS SANTOS  
Data: 06/02/2026 17:06:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Rafael Carlos dos Santos – IFMG

Documento assinado digitalmente  
 ARI MEDEIROS BRAGA NETO  
Data: 06/02/2026 08:59:14-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Ari Medeiros Braga Neto – IFMG

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me sustentou ao longo desta longa jornada, concedendo força, sabedoria e perseverança para superar os desafios enfrentados durante a graduação.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Rosângela e Vanderley, pelo apoio incondicional, incentivo constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos de maior dificuldade. O amor, a compreensão e o apoio de vocês foram fundamentais para que este sonho se tornasse realidade.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, Ivan da Costa Ilhéu Fontan, pela orientação, paciência, dedicação e pelas valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho, que foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço à equipe do viveiro de mudas do IFMG/SJE, local onde passei grande parte da minha trajetória acadêmica, pelos aprendizados e experiências adquiridas. Em especial, agradeço ao meu amigo Adair, funcionário do viveiro, pelo apoio, ensinamentos, colaboração e pela convivência ao longo desse período.

Aos professores do IFMG – *Campus* São João Evangelista, deixo meu agradecimento pelos ensinamentos transmitidos durante o curso, que contribuíram de forma significativa para a minha formação acadêmica e profissional.

Sou grata aos colegas de curso pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio ao longo dessa caminhada, tornando essa etapa mais leve, enriquecedora e significativa.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta importante etapa da minha vida acadêmica.

## RESUMO

O uso e o manejo do solo exercem influência direta sobre seus atributos físicos, afetando sua qualidade e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Este trabalho objetivou avaliar e comparar os atributos físicos do solo, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total, em áreas com diferentes usos do solo na fazenda experimental do IFMG – *Campus* São João Evangelista, Minas Gerais. O estudo foi conduzido em cinco áreas: café irrigado em monocultivo, monocultivo de eucalipto, pastagem com capim braquiária, sistema agroflorestal biodiverso sintrópico e fragmento de mata nativa. Foram coletadas amostras de solo indeformadas na camada de 0–10 cm, utilizando anéis volumétricos, para determinação da densidade do solo e estimativa da porosidade total, além da densidade de partículas pelo método do balão volumétrico. As comparações estatísticas foram realizadas por meio dos testes não paramétricos de Kruskal–Wallis e Dunn, a 5% de significância. Os resultados indicaram que a densidade de partículas não apresentou variação significativa entre os usos do solo, enquanto a densidade do solo e a porosidade total foram influenciadas significativamente. O solo sob mata nativa e sistema agroflorestal apresentou menores valores de densidade e maiores valores de porosidade, enquanto a área de café irrigado apresentou maior densidade e menor porosidade. Conclui-se que sistemas de uso conservacionistas, associados à maior cobertura do solo e ao maior teor de matéria orgânica, contribuem para a melhoria da qualidade física do solo.

**Palavras-chave:** Uso do solo. Qualidade física do solo. Densidade do solo. Porosidade. Sistema agroflorestal.

## ABSTRACT

Soil use and management directly influence its physical attributes, affecting soil quality and the sustainability of production systems. This study aimed to evaluate and compare soil physical attributes—bulk density, particle density, and total porosity—under different land uses at the experimental farm of IFMG – *Campus* São João Evangelista, Minas Gerais, Brazil. The study was conducted in five areas: irrigated coffee monoculture, eucalyptus monoculture, pasture with *Brachiaria* grass, a biodiverse syntropic agroforestry system, and a native forest fragment. Undisturbed soil samples were collected at a depth of 0–10 cm using volumetric rings to determine bulk density and estimate total porosity, while particle density was determined using the volumetric flask method. Statistical comparisons were performed using the nonparametric Kruskal–Wallis and Dunn tests at a 5% significance level. The results showed no significant variation in particle density among land uses; however, bulk density and total porosity were significantly affected. Native forest and agroforestry systems exhibited lower bulk density and higher total porosity values, whereas the irrigated coffee area showed higher bulk density and lower porosity. It is concluded that conservation-oriented land-use systems, associated with greater soil cover and higher organic matter content, contribute to improving soil physical quality.

**Keywords:** Land use. Soil physical quality. Bulk density. Porosity. Agroforestry systems.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Café irrigado em monocultivo .....	12
Figura 2 -Monocultivo de eucalipto .....	13
Figura 3 - Fragmento de mata nativa .....	14
Figura 4 - Pastagem com capim braquiária .....	15
Figura 5 - Sistema agroflorestal biodiverso sintrópico .....	16
Figura 6 - Procedimento de coleta das amostras de solo .....	17
Figura 7 - Medição do diâmetro e da altura dos anéis volumétricos para a determinação do volume das amostras de solo .....	18
Figura 8 - Secagem em estufa e pesagem das amostras de solo .....	19
Figura 9 - Determinação do volume das amostras pelo método do balão volumétrico.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos testes estatísticos usados para comparar as variáveis Densidade de partículas ( $D_p$ , $\text{g cm}^{-3}$ ), Densidade do solo ( $D_s$ , $\text{g cm}^{-3}$ ) e Porosidade total ( $P_t$ , %) em amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, <i>Campus</i> São João Eva .....	22
Tabela 2 - Composição textural e teor de matéria orgânica das amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, <i>Campus</i> São João Evangelista. ....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Caracterização das áreas de estudo .....</b>	<b>11</b>
<i>2.1.1 Café irrigado em monocultivo.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.2 Monocultivo de eucalipto .....</i>	<i>12</i>
<i>2.1.3 Fragmento de mata nativa .....</i>	<i>13</i>
<i>2.1.4 Pastagem com capim braquiária.....</i>	<i>14</i>
<i>2.1.5 Sistema agroflorestal biodiverso sintrópico.....</i>	<i>15</i>
<b>2.2 Amostragem, atributos físicos e análise estatística .....</b>	<b>16</b>
<i>2.2.1 Densidade do solo (Ds).....</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2 Densidade de partículas (Dp) .....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.3 Porosidade total (Pt) .....</i>	<i>20</i>
<b>2.3 Análise estatística .....</b>	<b>21</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um corpo natural tridimensional composto por matéria mineral e orgânica, água, ar e organismos vivos, resultante de processos de intemperismo físico, químico e biológico que atuam sobre as rochas ao longo do tempo (SANTOS *et al.*, 2018). Nesse sentido, refere-se ao material mineral e/ou orgânico inconsolidado presente na superfície da Terra, que funciona como meio natural para o crescimento e desenvolvimento das plantas terrestres (IBGE, 2015).

Além de ser o meio onde as plantas se fixam e extraem água e nutrientes, o solo exerce papel fundamental como recurso base para a ocorrência de todos os processos ecológicos no planeta, como por exemplo a regulação dos ciclos hidrológicos, a decomposição de resíduos orgânicos e a ciclagem de nutrientes, que influenciam diretamente a saúde ambiental bem como a produtividade agrícola (VEZZANI, 2015; ANIKWE; IFE, 2023; TÔSTO *et al.*; 2023).

A capacidade do solo desempenhar funções ecossistêmicas pode ser comprometida pela adoção de práticas como a monocultura contínua, o revolvimento frequente do solo, uso intensivo de adubos químicos e agrotóxicos, e a ausência de cobertura vegetal, que aceleram a degradação e depreciam sua qualidade (PRAGER *et al.*, 2011; LAL, 2015).

O processo de degradação do solo e o comprometimento de suas funções ecossistêmicas estão frequentemente associados a alterações em sua estrutura física, como o aumento da densidade, a redução da porosidade total e a formação de camadas compactadas, que dificultam o crescimento radicular, reduzem a atividade biológica e comprometem a infiltração e a retenção de água (JIMENEZ *et al.*, 2008; TAVARES FILHO; TESSIER, 2010).

Esses processos resultam em menor disponibilidade de oxigênio para as raízes e microrganismos, favorecendo condições anaeróbias que reduzem a mineralização da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, intensifica o escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão hídrica. Do ponto de vista agrícola, tais alterações reduzem a produtividade das culturas e elevam a necessidade de insumos externos, tornando os sistemas de produção menos sustentáveis (HAMZA; ANDERSON, 2005; SHAHEB; VENKATESH; SHEARER, 2021).

Partindo-se da hipótese de que sistemas de cultivo que adotam práticas conservacionistas proporcionam melhorias na qualidade do solo, o objetivo geral do trabalho foi avaliar e comparar atributos físicos do solo (densidade do solo, densidade de partículas e

porosidade) em áreas com diferentes usos (pastagem com capim braquiária, monocultivo de eucalipto, café irrigado em monocultivo, sistema agroflorestal sintrópico e fragmento de mata nativa), na fazenda experimental do IFMG – *Campus* São João Evangelista.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Caracterização das áreas de estudo**

O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* São João Evangelista/MG (IFMG-SJE; 18°33'23" Sul, 42°45'40" Oeste; Altitude média: 730 m), onde o clima é do tipo Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de temperatura e precipitação em São João Evangelista são de 20,2 °C e 1.000 mm, respectivamente (CLIMATE.DATA.ORG, 2025). A região é considerada uma área de abrangência do bioma Mata Atlântica em que predominam os solos da classe Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico ou Alumínicos de textura média a argilosa.

O estudo foi conduzido em 5 áreas do IFMG-SJE com diferentes usos do solo, sendo elas: monocultivo de café irrigado, plantio comercial de eucalipto, fragmento de mata nativa, área de pastagem com capim braquiária e sistema agroflorestal biodiverso sintrópico.

#### **2.1.1 *Café irrigado em monocultivo***

Área de 1,4 ha com monocultivo de café em sistema de irrigação por gotejamento, plantada entre os anos de 2016 e 2017. Trata-se de uma área popularmente denominada como um “fundo de grotta” (Figura 1), ou seja, é um terreno com declividade reduzida, quase plano, rodeado por encostas, neste caso ocupadas por pastagens degradadas e abandonadas, com presença de vegetação nativa espontânea esparsa (pasto sujo ou capoeira).

Apesar dos responsáveis pela gestão das áreas produtivas do IFMG-SJE não possuírem informações mais detalhadas sobre o histórico dos tratamentos culturais aplicados nesta área, trata-se de uma lavoura tradicional, onde o preparo do solo foi realizado por meio de aração/gradagem, foi realizada calagem para ajuste do pH e redução da acidez do solo, além de adubações minerais para o estabelecimento da cultura. Sabe-se que anualmente são realizadas adubações de cobertura com fertilizantes minerais, e pulverizações de defensivos agrícolas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

O solo no local de coleta apresenta textura Franco-argiloso-arenosa, com 31,2 dag/kg-1 de argila, 16,4 dag/kg-1 de silte e 52,4 dag/kg-1 de areia.

Figura 1 - Café irrigado em monocultivo



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

### **2.1.2 Monocultivo de eucalipto**

Área que apresenta cerca de 1,8 hectares (Figura 2) com predomínio de Latossolo Vermelho Distrófico – LVd e refere-se a uma condução das brotações de um plantio seminal de um híbrido “urograndis” (*Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*) originalmente estabelecido no espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas por meio de uma parceria com a empresa Cenibra. O plantio original foi estabelecido em 2004 e a colheita das árvores (1º corte) ocorreu em janeiro de 2021 de maneira semi-mecanizada (motosserra), quando o povoamento apresentava idade entre 16 e 17 anos. Após a colheita a área passou a ser manejada sob o regime de talhadia, sendo conduzido um fuste por cepa.

Os responsáveis pelas áreas produtivas do IFMG-SJE não possuem informações mais detalhadas sobre o histórico no local, mas por se tratar de uma área plantada no contexto do programa de fomento florestal da Cenibra pode-se inferir que inicialmente foi realizada uma limpeza da área com a retirada da vegetação existente com uso de métodos mecânicos e químicos. Posteriormente houve um preparo de solo por meio da abertura manual e/ou semimecanizada de covas onde as mudas foram plantadas e adubadas com fertilizantes minerais. As prováveis manutenções na área foram adubações minerais de cobertura nos dois

primeiros anos, controle anual de formigas cortadeiras com uso de iscas granuladas e eventualmente aplicações de outros agrotóxicos para o controle de pragas e plantas daninhas na área de cultivo.

Após 2021, quando a área passou a ser manejada sob o regime de talhadia, não foram utilizados fertilizantes minerais, e nos dois primeiros anos da condução das brotações foram realizadas aplicações de herbicida (glifosate) para o controle de plantas daninhas e aplicações de isca granulada (sulfuramida) para controle de formigas cortadeiras. O solo no local de coleta apresenta textura Argilosa, com 53,3 dag/kg-1 de argila, 8,9 dag/kg-1 de silte e 37,8 dag/kg-1 de areia.

Figura 2 -Monocultivo de eucalipto



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

### ***2.1.3 Fragmento de mata nativa***

A área de mata nativa utilizada neste estudo representa um fragmento de Floresta Estacional-Semidecidual em estágio secundário de regeneração (Figura 3), em área de domínio do bioma Mata Atlântica. O fragmento todo apresenta uma área contínua de pouco mais de 77 hectares e está em bom estado de conservação, apesar de serem observadas atividades antrópicas sendo realizadas de maneira irregular, como corte seletivo de árvores e caça de animais silvestres.

As amostras foram retiradas na porção da mata mais próxima do setor de suinocultura do IFMG-SJE, onde o solo apresenta textura Franco-argiloso-arenosa, com 34,5 dag/kg-1 de argila, 14,4 dag/kg-1 de silte e 51,1 dag/kg-1 de areia.

Figura 3 - Fragmento de mata nativa



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

#### **2.1.4 Pastagem com capim braquiária**

Esta área de aproximadamente 3,5 ha (Figura 4) é utilizada como pastagem para bovinos (gado de leite) desde o início dos anos 2000 (no histórico de imagens do Google Earth Pro a primeira imagem de satélite da área é do ano de 2004 e a mesma já era usada como pastagem). A gramínea predominante é o capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) que visivelmente está enfraquecido pelo manejo inadequado ao longo dos anos, resultando em uma cobertura pouco densa e irregular do solo, que se apresenta compactado e com processos erosivos evidentes especialmente nas porções mais declivosas.

O solo no local de coleta apresenta textura Argilo-arenosa, com 40,6 dag/kg-1 de argila, 9,3 dag/kg-1 de silte e 50,1 dag/kg-1 de areia. Os responsáveis pela gestão das áreas produtivas do IFMG-SJE não possuem informações mais detalhadas sobre o histórico dos tratamentos culturais aplicados nesta área.

Figura 4 - Pastagem com capim braquiária



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

### ***2.1.5 Sistema agroflorestal biodiverso sintrópico***

Trata-se de uma unidade demonstrativa de um sistema agroflorestal (SAF) sucessional sintrópico não irrigado, implantada em um Latossolo Vermelho Distrófico – LVd de textura argilosa na fazenda do IFMG-SJE (Figura 5). Esta unidade demonstrativa foi plantada entre novembro e dezembro de 2022 em uma área de 120 m<sup>2</sup> contendo duas linhas/faixas de 20 metros de comprimento com espécies agronômicas, frutíferas e florestais exóticas e nativas (banana, café, eucalipto, canafistula, uvaia, acácia, mulungu, graviola, embiruçu, araçá, amora, abacaxi, moringa, limão, laranja e tangerina), distantes 3 m uma da outra e estabelecidas no sentido norte-sul.

Nas margens das linhas/faixas foram plantadas as espécies de adubação verde crotalária e feijão de porco, que apresentam um crescimento rápido e contribuem para a cobertura do solo. Nas entrelinhas foram plantadas estacas de margaridão e também sementes de feijão guandu, que juntamente com a vegetação espontânea serviram para cobrir o solo após roçadas sucessivas.

Desde o plantio foram realizadas nesta área atividades de manejo/manutenção do sistema agroflorestal (SAF), tais como podas, desbastes, capinas e cobertura permanente do solo com resíduos vegetais.

O solo no local de coleta apresenta textura Argilosa, com 58,4 dag/kg-1 de argila, 5,1 dag/kg-1 de silte e 36,5 dag/kg-1 de areia. Nesta área não foram realizadas adubações minerais, tampouco aplicações de agrotóxicos desde a implantação do SAF.

Figura 5 - Sistema agroflorestal biodiverso sintrópico



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

## 2.2 Amostragem, atributos físicos e análise estatística

Para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ), densidade de partículas ( $D_p$ ) e estimativa da porosidade total ( $P_t$ ), foram realizadas coletas de amostras de solo indeformadas pelo método do anel volumétrico, utilizando um amostrador do tipo Castelo. Em cada um dos cinco locais de estudo, correspondentes a diferentes usos do solo, foram coletadas quatro amostras (repetições) de forma aleatória, na profundidade de 0–10 cm, totalizando 20 amostras.

No início de cada coleta, cada ponto amostrado foi previamente limpo com o auxílio de uma enxada, removendo-se os resíduos orgânicos presentes na superfície do solo, compostos por pequenas raízes, plantas espontâneas, folhas e galhos.

Para a inserção do amostrador do tipo Castelo, utilizou-se uma marreta de madeira, garantindo a adequada penetração do equipamento no solo. Em seguida, a amostra foi retirada do amostrador com o auxílio de uma faca e protegida com tampas plásticas, evitando a perda de solo e a alteração de sua estrutura (Figura 6).

Figura 6 - Procedimento de coleta das amostras de solo



(A) Amostrador do tipo Castelo, e marreta; (B) Retirada da amostra do amostrador; (C) Retirada do excesso de solo; (D) Proteção da amostra.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

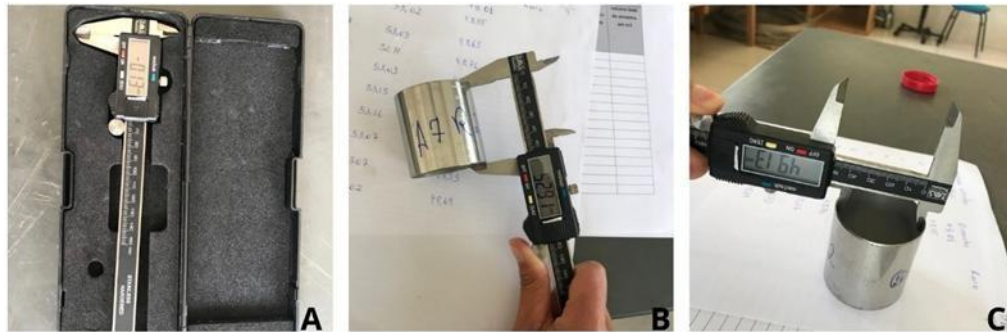
Após a proteção dos anéis volumétricos com tampas plásticas, os mesmos foram encaminhados ao Laboratório de Análise de Solos do IFMG – *Campus* São João Evangelista para realização dos protocolos de determinação da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total, segundo os procedimentos descritos no *Manual de métodos de análise de solo* da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017), e resumidas a seguir.

### 2.2.1 Densidade do solo ( $D_s$ )

A determinação da densidade do solo envolve a obtenção da massa e do volume de amostras indeformadas, sendo que seu valor se relaciona com a porosidade total e com a composição orgânica e mineralógica média do solo.

Para calcular o volume das amostras, antes do início das coletas em campo todos os anéis volumétricos foram devidamente identificados de acordo com as respectivas áreas e repetições. Em seguida, foram mensurados o diâmetro interno e a altura dos anéis com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 7).

Figura 7 - Medição do diâmetro e da altura dos anéis volumétricos para a determinação do volume das amostras de solo



(A) Paquímetro digital; (B) Medição da altura; (C) Medição do diâmetro interno.  
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

No laboratório do IFMG, *Campus* São João Evangelista/MG, as amostras foram acondicionadas em estufas para secagem à temperatura de 105°C durante um período de 48 horas até peso constante. Posteriormente os anéis volumétricos com as amostras foram resfriados em um dessecador e pesados em balança analítica de precisão, para determinação da massa da amostra de solo seca (Figura 8).

Após estes procedimentos foi possível calcular a densidade do solo ( $D_s$ ) por meio da seguinte equação:

$$D_s = \frac{m_a}{V}$$

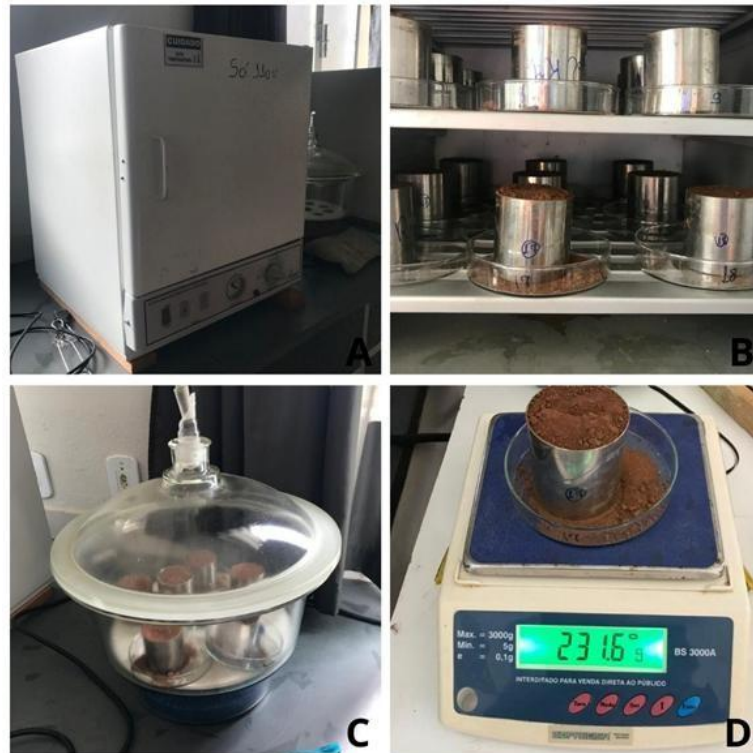
Em que:

$D_s$  = densidade do solo, em  $\text{kg dm}^{-3}$  (equivalente a  $\text{g cm}^{-3}$ ).

$m_a$  = massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g.

$V$  = volume do cilindro, em  $\text{cm}^3$ .

Figura 8 - Secagem em estufa e pesagem das amostras de solo



(A) Estufa; (B) Amostras dentro da estufa a 105 °C; (C) Amostras dentro do dessecador; (D) Pesagem do conjunto amostra-cilindro em balança digital.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

### 2.2.2 Densidade de partículas ( $D_p$ )

A densidade de partículas representa a densidade média das partículas minerais e orgânicas presentes na amostra, estando relacionada ao volume efetivamente ocupado pela matéria sólida, desconsiderando o volume de poros (porosidade).

Para determinação da densidade de partículas foi utilizado o método do balão volumétrico, que envolve a obtenção da massa da amostra seca (estufa a 105 °C até peso constante) por pesagem, e a determinação de seu volume, obtido indiretamente, pela diferença entre o volume de um líquido necessário para completar um balão volumétrico vazio e o volume necessário para completar o mesmo balão contendo a amostra seca.

Como observado na Figura 9, utilizaram-se balões volumétricos (50 mL) com água deionizada e desaerada, onde foram inseridas as amostras de solo secas (20 g). Em seguida, adicionou-se álcool etílico até cobrir a amostra, promovendo-se a agitação para eliminação das bolhas de ar. Após repouso de 30 minutos, o volume do balão foi completado lentamente, assegurando-se a ausência de bolhas, sendo então anotado o volume de álcool utilizado.

Figura 9 - Determinação do volume das amostras pelo método do balão volumétrico



(A) Equipamentos; (B) Adição da amostra no funil; (C) Balão volumétrico com amostra; (D) Álcool etílico (E) Adição do álcool; (F) Válvula de controle  
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi calculada pela seguinte equação:

$$D_p = \frac{m_a}{(V_T - V_u)}$$

Em que:

$D_p$  – densidade de partículas, em  $\text{kg dm}^{-3}$  (equivalente a  $\text{g cm}^{-3}$ ).  $m_a$  – massa da amostra seca a  $105^\circ\text{C}$ , em g.

$V_T$  – Volume total aferido do balão, em mL.

$v_u$  – volume utilizado para completar o balão com a amostra, em mL

### 2.2.3 Porosidade total ( $P_t$ )

A porosidade total do solo refere-se à fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupada por água e/ou ar. O conhecimento da porosidade total é importante para se entender o movimento e a retenção de água, ar e solutos no solo, entre outros aspectos. No presente trabalho a porosidade total foi estimada pelo método indireto, que se baseia na relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas.

Partindo da premissa de que densidade do solo considera o volume de poros mais o volume das partículas, e que a densidade das partículas considera apenas o volume das partículas, é possível calcular o volume de poros assumindo a densidade de solo como resultado de uma média ponderada das densidades de partícula e do ar, desprezando-se a massa de ar.

No método indireto a porosidade total do solo é calculada pela seguinte fórmula:

$$P_t = \left[ \frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right]$$

Em que:

P<sub>t</sub> – porosidade total, em m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

D<sub>p</sub> – densidade de partículas sólidas do solo, em kg dm<sup>-3</sup>

D<sub>s</sub> – densidade do solo, em kg dm<sup>-3</sup>

### 2.3 Análise estatística

Em função das características experimentais do presente trabalho e da natureza dos dados (amostras de solo retiradas em cinco locais, com 4 repetições, sendo um delineamento amostral em “talhões”), as comparações dos atributos físicos do solo (densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total) foram realizadas por meio de testes estatísticos não paramétricos (5% de significância), sendo eles: teste de Kruskal–Wallis e comparações múltiplas usando teste de Dunn com correção de Holm (GARCIA *et al.*, 2010; GIBBONS; CHAKRABORTI, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises estatísticas apresentados na Tabela 1 evidenciaram que a densidade de partículas (Dp) não variou entre os locais, porém a densidade do solo (Ds) e a porosidade total (Pt) foram significativamente influenciadas pelos diferentes usos do solo.

Tabela 1 - Resultados dos testes estatísticos usados para comparar as variáveis Densidade de partículas (Dp, g cm<sup>-3</sup>), Densidade do solo (Ds, g cm<sup>-3</sup>) e Porosidade total (Pt, %) em amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus* São João Eva

Tratamentos	D <sub>p</sub> (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>ns</sup>	D <sub>s</sub> (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>**</sup>	Pt (%) <sup>**</sup>
Café irrigado	2,416 a	1,315 a	45,50 b
Eucalipto	2,381 a	1,177 ab	50,63 ab
Mata nativa	2,388 a	1,113 b	53,15 a
Pastagem	2,389 a	1,191 ab	50,16 ab
Sistema agroflorestal	2,329 a	1,115 b	52,10 a

Teste de Kruskal Wallis: ns = não significativo; \*\* = significativo a 5%; Teste Dunn com correção de Holm (5%): Médias com mesma letra nas colunas não diferem entre si.

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A densidade de partículas do solo (Dp) não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os usos distintos do solo, conforme resultado do teste de Kruskal–Wallis. Esse comportamento era esperado, uma vez que a densidade de partículas está relacionada principalmente à composição mineralógica do solo, sendo pouco influenciada pelas práticas de manejo agrícola, em curta escala de tempo. Valores de Dp relativamente homogêneos entre áreas sob diferentes usos e texturas são comumente reportados na literatura, sobretudo em solos minerais tropicais, nos quais a fração sólida é dominada por óxidos de ferro, alumínio e silicatos (REYNOLDS *et al.*, 2009; MCBRIDE; SLESSOR; JOOSSE, 2012; RUEHLMANN, 2020).

Por outro lado, as análises estatísticas realizadas no presente estudo indicaram haver diferenças significativas entre os locais amostrados, no que diz respeito aos atributos físicos densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt), conforme observado na Tabela 1.

Os resultados evidenciaram que o solo na área de cultivo de café apresentou a maior densidade (1,315 g cm<sup>-3</sup>) e a menor porosidade total (45,50%), enquanto o solo na área de mata nativa apresentou comportamento inverso, com o menor valor de densidade (1,113 g cm<sup>-3</sup>) e o maior valor de porosidade total (53,15%).

Dentre os locais usados para o desenvolvimento de atividades agropecuárias destacou-se positivamente o sistema agroflorestal, cujo solo apresentou densidade (1,115 g cm<sup>-3</sup>)

<sup>3</sup>) e porosidade (52,10%) estatisticamente iguais àsquelas observadas para a área de mata nativa, considerada como uma referência em termos de qualidade do solo.

Já os solos nas áreas de eucalipto e pastagem apresentaram valores intermediários de densidade (1,177 e 1,191 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente) e porosidade total (50,63 e 50,16%) na comparação com os demais locais estudados.

Os atributos físicos do solo, como densidade e porosidade são condicionados por uma interação complexa entre as características intrínsecas do solo, com destaque para sua composição textural e teor de matéria orgânica, e as práticas de manejo e uso do solo. Esses atributos refletem a estrutura física do sistema edáfico e determinam diretamente a capacidade do solo de armazenar e conduzir água, suportar o crescimento radicular e sustentar processos biológicos e químicos essenciais (DEXTER, 2004; ROBINSON *et al.*, 2022).

O uso intensivo do solo em áreas de cultivo que adotam práticas convencionais pode provocar importantes modificações físicas no solo, como sua compactação, que se refere à deformação volumétrica do solo relacionada com o aumento da densidade e com a redução da porosidade (TANG *et al.*, 2011; KUNZ *et al.*, 2013; EPRON *et al.*, 2016). A compactação pode limitar a capacidade de retenção da água e nutrientes e as trocas gasosas no solo, bem como o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, resultando na redução da produtividade das culturas (GUBIANI *et al.*, 2013; CAMBI *et al.*, 2017).

Neste sentido os resultados experimentais apresentam-se coerentes na medida em que nas áreas de cultivo convencionais (café, eucalipto e pastagem) a menor cobertura do solo, o eventual uso de maquinário agrícola e o pisoteio animal (no caso específico da área de pastagem) podem ter contribuído para uma densidade do solo ligeiramente maior, e para uma menor porosidade total, na comparação com as áreas de mata nativa e sistema agroflorestal. Reforça-se assim que práticas agropecuárias que preservem a integridade física do solo (menor circulação de máquinas, adequado dimensionamento do plantel animal por unidade de área, cobertura permanente do solo, dentre outras), tendem a reduzir a densidade do solo e aumentar sua porosidade, contribuindo para maior permeabilidade e resistência à compactação.

Outros fatores importantes a serem considerados de forma integrada na interpretação destes resultados referem-se à textura do solo e também o teor de matéria orgânica do solo (MO). Assim, são apresentadas na Tabela 2 as características de textura e teor MO das amostras de solo retiradas nos cinco diferentes locais estudados.

Tabela 2 - Composição textural e teor de matéria orgânica das amostras de solo coletadas em locais com diferentes usos no IFMG, *Campus* São João Evangelista.

Local	Argila <sup>1</sup> (dag/ Kg -1)	Areia <sup>1</sup> (dag/ Kg -1)	Silte <sup>1</sup> (dag/ Kg -1)	Matéria orgânica <sup>2</sup> (g/ dm -3)
Café irrigado	31,2	52,4	16,4	22,0
Eucalipto	53,3	37,8	8,9	38,0
Mata nativa	34,5	51,1	14,4	44,0
Pastagem	40,6	50,1	9,3	39,0
Sistema agroflorestal	58,4	36,5	5,1	44,0

<sup>1</sup>Teor de argila, areia e silte (0-10 cm); <sup>2</sup>Matéria orgânica do solo (0-10 cm), obtida pela oxidação por Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O.  
Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A textura do solo, que representa a proporção das frações de areia, silte e argila, determina fundamentalmente a organização espacial das partículas e o volume total de poros. Embora a densidade de partículas das diferentes frações minerais do solo seja semelhante, a forma como se organizam no espaço determina a diferença na densidade e na porosidade do solo (SANTOS *et al.*, 2018; ALBUQUERQUE; GUBIANI, 2023).

Nos solos com maior proporção de areia predominam as partículas relativamente grandes, esféricas ou cúbicas, com menor área superficial específica. Nesta condição verificar se menor coesão entre as partículas que tendem a se acomodar de forma mais compacta, resultando em maior densidade do solo e menor porosidade total. Além disso, solos arenosos geralmente possuem menor teor de matéria orgânica do que os solos de textura mais fina, o que reduz ainda mais a porosidade, pois a matéria orgânica contribui para a formação de estruturas com maior espaço de poros (BRADY; WEIL, 2013; LIMA *et al.* 2022).

A organização espacial das partículas e o processo de formação de agregados em função da textura e do teor de matéria orgânica do solo ajudam a explicar os resultados obtidos na área de cultivo de café, uma vez que a maior densidade e a menor porosidade do solo observadas neste local, possivelmente estão associadas ao teor relativamente elevado de areia (52,4 dag/ kg -1) em relação ao teor de argila (31,2 dag/ kg -1), somado ao reduzido teor de matéria orgânica (22,0 g/dm<sup>-3</sup>).

Na pastagem com braquiária, a densidade do solo e a porosidade total apresentaram valores intermediários na comparação com os demais locais, resultado que pode ter sido influenciado, além do aspecto do uso e manejo da área, pelo fato do solo apresentar uma proporção mais equilibrada entre os teores de argila (40,6 dag/ kg -1) e areia (50,1 dag/kg -1) e moderado teor de matéria orgânica (39,0 g/dm<sup>-3</sup>).

Em solos com elevado teor de argila, as partículas são muito pequenas, com elevada área superficial específica e alta capacidade de adsorção de água e cargas coloidais. Essas características favorecem a formação de agregados estáveis, nos quais partículas finas se ligam através de pontes de argila e matéria orgânica, criando uma estrutura agregada complexa com muitos microporos intra-agregados e macroporos interagregados, resultando em maior porosidade total e menor densidade do solo (STOLF *et al.*, 2011; ROBINSON *et al.*, 2022).

Este comportamento de maior agregação dos solos argilosos descrito anteriormente torna coerente o resultado observado para a área de plantio de eucalipto, que apresentou valores intermediários de densidade e porosidade total, apesar das práticas convencionais de cultivo e do teor mediano de matéria orgânica no solo. Possivelmente este resultado está associado ao elevado teor de argila (53,3 dag/ kg<sup>-1</sup>) verificado neste local.

Adicionalmente, a matéria orgânica exerce um papel crítico e multifuncional na qualidade física do solo, uma vez que está fortemente associada à formação e estabilidade dos agregados, principais responsáveis pela criação e sustentação de poros que favorecem a circulação de água e ar no solo. Isto se dá pela atuação da matéria orgânica como agente ligante entre partículas minerais, formando pontes que resultam em um arranjo de agregados estáveis com maiores volumes de poros internos e interagregados, levando à uma maior porosidade total e menor densidade do solo (KING *et al.*, 2020; CHITTAMART *et al.*, 2024).

Estudos demonstram que conteúdos maiores de matéria orgânica estão associados a menores valores de densidade do solo e maiores valores de porosidade total, mesmo em solos sob práticas convencionais de cultivo (ARVIDSSON, 1998; VALADÃO JÚNIOR; VALADÃO; SILVA, 2017; TANAKA *et al.*, 2025). No presente estudo as áreas que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica foram a mata nativa e o sistema agroflorestal (ambas com 44,0 dag /kg<sup>-1</sup>), exatamente os locais onde verificaram-se os menores valores de densidade do solo e os maiores valores de porosidade total.

No caso da área de mata nativa o teor de matéria orgânica mais elevado foi ainda mais importante para o resultado encontrado (menor densidade do solo e maior porosidade total entre os locais avaliados), visto que se trata de um local onde o solo apresenta grande proporção de partículas de areia (51,1 dag /kg<sup>-1</sup>) em relação à argila (34,5 dag /kg<sup>-1</sup>).

Neste contexto, os resultados do presente estudo demonstraram a importância de se estabelecer estratégias de cobertura permanente do solo bem como a adoção de práticas de manejo que contribuam para a incorporação contínua de matéria orgânica, com vistas à melhoria da qualidade física do solo.

#### 4 CONCLUSÕES

O solo da área de mata nativa apresentou o menor valor de densidade ( $1,113 \text{ g cm}^{-3}$ ) e o maior de porosidade total (53,15%), configurando-se como referência de qualidade do solo; entre as áreas destinadas às atividades agropecuárias, o sistema agroflorestal destacou-se positivamente, pois apresentou densidade ( $1,115 \text{ g cm}^{-3}$ ) e porosidade total (52,10%) estatisticamente semelhantes às da mata nativa, enquanto a área de cultivo de café apresentou a maior densidade ( $1,315 \text{ g cm}^{-3}$ ) e a menor porosidade total (45,50%); já os solos sob eucalipto e pastagem exibiram valores intermediários de densidade (1,177 e  $1,191 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente) e de porosidade total (50,63 e 50,16%) em comparação aos demais locais avaliados.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; GUBIANI, P. I. **Física do solo**. Santa Maria: Palloti, 2023. 344 p.
- ANIKWE, MAN; IFE, K. O papel dos serviços ecossistêmicos do solo na bioeconomia circular. **Frontiers in Soil Science**, v. 3, p. 1209100, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/soil-science/articles/10.3389/fsoil.2023.1209100/full>. Acesso em: 15 abr. 2025.
- ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. **Soil & Tillage Research**, 49, p. 159-170, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198798001640>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª ed., Bookman Editora, 2013, 716 p.
- CHITTAMART, N. *et al.* Aggregate Stability and Aggregate-Associated Organic Matter along a Soil Chronosequence on the Galápagos Archipelago. **J Soil Sci Plant Nutr** 24, 6338–6348, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-024-01971-y>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality: **Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter and effects on root growth**. *Soil and Tillage Research*, 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222333318\\_Soil\\_physical\\_quality\\_Part\\_I\\_Theory\\_effects\\_of\\_soil\\_texture\\_density\\_and\\_organic\\_matter\\_and\\_effects\\_on\\_root\\_growth](https://www.researchgate.net/publication/222333318_Soil_physical_quality_Part_I_Theory_effects_of_soil_texture_density_and_organic_matter_and_effects_on_root_growth). Acesso em: 20 mai. 2025.
- GARCIA, L. V. *et al.* The Holm–Bonferroni method: an easy way to control the family-wise error rate in multiple comparisons. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 98, n. 2, p. 402–406, 2010. Disponível em: [https://academic.oup.com/jpe/search-results?page=1&q=The+Holm%E2%80%93Bonferroni+method%3a+an+easy+way+to+control+the+family-wise+error+rate+in+multiple+comparisons.+&fl\\_SiteID=5318&SearchSourceType=1&allJournals=1&login=false](https://academic.oup.com/jpe/search-results?page=1&q=The+Holm%E2%80%93Bonferroni+method%3a+an+easy+way+to+control+the+family-wise+error+rate+in+multiple+comparisons.+&fl_SiteID=5318&SearchSourceType=1&allJournals=1&login=false). Acesso em: 15 ago. 2025.
- GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric statistical inference**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and tillage research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704001849>. Acesso em: 11 abr. 2025.
- KING, A. *et al.* Soil organic matter as catalyst of crop resource capture. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 50, 2020. Disponível em: <https://gillespielab.uoguelph.ca/sample-page/publications/>. Acesso em: 18 out. 2025.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 58755895, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/7/5/5875>. Acesso em: 02 set. 2025.

LIMA, R. P. *et al.* Texture and degree of compactness effect on the pore size distribution in weathered tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 215, p. 105215, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721002889>. Acesso em: 20 out. 2025.

IBGE. **Manual técnico de pedologia** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. -: il. - (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281613>. Acesso em: 12 mai. 2025.

MCBRIDE, R. A.; SLESSOR, R. L.; JOOSSE, P. J. Estimating the particle density of clayrich soils with diverse mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 2, p. 569-574, 2012. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2011.0177n>. Acesso em: 20 abr. 2025.

PRAGER, K. *et al.* Soil degradation, farming practices, institutions and policy responses: An analytical framework. **Land Degradation & Development**, v. 22, n. 1, p. 32-46, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/229892614\\_Soil\\_degradation\\_farming\\_practices\\_institutions\\_and\\_policy\\_responses\\_An\\_analytical\\_framework](https://www.researchgate.net/publication/229892614_Soil_degradation_farming_practices_institutions_and_policy_responses_An_analytical_framework). Acesso em: 11 out. 2025.

REYNOLDS, W. D. *et al.* Use of indicators of pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v. 152, n. 3-4, p. 252-263, 2009. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.06.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706109001967>. Acesso em: 20 jul. 2025.

ROBINSON, D. A.; *et al.* Analytical modelling of soil porosity and bulk density as a function of soil texture and organic matter. **Scientific Reports**, Nature Publishing Group, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-11099-7>. Acesso em: 02 ago. 2025.

RUEHLMANN, J. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 1. Partitioning of SOM in conceptual fractions and derivation of a variable SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 375, p. 114542, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706120306443>. 15 set. 2025.

SHAHEB, M. R.; VENKATESH, R.; SHEARER, S. A. A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 46, n. 4, p. 417-439, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42853-021-00117-7>. Acesso em: 16 mai. 2025.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 12 ago. 2025.

TANAKA, R. T. *et al.* Soil aggregation and organic carbon under different management systems in the cerrado of Mato Grosso. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v.38: e12508, 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252025v3812508rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/fJyrgyFCZVxL3xFvSPYGfWd/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 11 mar. 2025.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A.; SILVA, G. J. Atributos físicos e matéria orgânica de um latossolo sob diferentes manejos. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v.26, n.3, p.237-250, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/342439867\\_ATRIBUTOS\\_FISICOS\\_E\\_MATERIA\\_ORGANICA\\_DE\\_UM\\_LATOSSOLO\\_SOB\\_DIFERENTES\\_MANEJO](https://www.researchgate.net/publication/342439867_ATRIBUTOS_FISICOS_E_MATERIA_ORGANICA_DE_UM_LATOSSOLO_SOB_DIFERENTES_MANEJO). Acesso em: 22 mai. 2025.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos (Soils and the Ecosystem Services). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 8, p. 673–684, 2015. DOI: 10.26848/rbgf.v8.0.p673-684. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233637>. Acesso em: 08 abr. 2024.