

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DA ÁREA DE POLICULTIVO DE FRUTEIRAS NATIVAS DO CERRADO GOIANO¹

Luís Fernando Rodrigues Costa²; Felipe Corrêa Veloso dos Santos³

RESUMO: Este estudo teve como objetivo caracterizar os atributos físico-hídricos do solo em uma área de pastagem convertida em policultivo com espécies frutíferas nativas do Cerrado. Foram avaliadas a resistência mecânica à penetração, a umidade gravimétrica, a densidade do solo, a porosidade e a taxa de infiltração de água. As coletas foram realizadas em cinco pontos, nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm, utilizando penetrômetro de impacto, anéis volumétricos e ensaios de infiltração com anéis concêntricos. Os resultados indicaram diferença significativa na resistência mecânica entre as camadas, com valores médios de 2,23 MPa (0–20 cm) e 3,54 MPa (20–40 cm), superiores ao limite crítico de 2 MPa, mas ainda compatíveis com manejo conservacionista. A densidade do solo manteve-se em torno de 1,39 g/cm³, e a porosidade efetiva próxima de 0,42 cm³/cm³, sem diferenças significativas entre profundidades. A taxa de infiltração apresentou alta variabilidade (32,4 a 180 mm/h), com média de 91,90 mm/h e coeficiente de variação de 83,42%, refletindo heterogeneidade estrutural e presença de bioporos. Conclui-se que o policultivo contribui para a manutenção da qualidade física do solo, embora seja necessária atenção à compactação subsuperficial. Recomenda-se o uso de práticas conservacionistas, como subsolagem localizada e espécies com raízes pivotantes, para mitigar os efeitos da compactação e melhorar a infiltração.

Palavras-chave: Resistência mecânica do solo; Taxa de infiltração e Qualidade estrutural do solo

ABSTRACT: This study aimed to characterize the physical and hydraulic properties of soil in an area of pasture converted into polyculture with native fruit species of the Cerrado biome. Soil penetration resistance, gravimetric moisture, bulk density, porosity, and water infiltration rate were evaluated. Sampling was conducted at five points at depths of 0–20 cm and 20–40 cm using an impact penetrometer, volumetric rings, and double-ring infiltration tests. Results indicated a significant difference in penetration resistance between layers, with mean values of 2.23 MPa (0–20 cm) and 3.54 MPa (20–40 cm), exceeding the critical threshold of 2 MPa but still compatible with conservation management practices. Bulk density remained around 1.39 g/cm³, and effective porosity near 0.42 cm³/cm³, with no significant differences between depths. The infiltration rate showed high variability (32.4 to 180 mm/h), with an average of 91.90 mm/h and a coefficient of variation of 83.42%, reflecting structural heterogeneity and the presence of biopores. It is concluded that polyculture contributes to maintaining soil physical quality, although attention should be given to subsurface compaction. The adoption of conservation practices, such as localized subsoiling and the use of species with taproots, is recommended to mitigate compaction effects and improve infiltration.

Keywords: Soil penetration resistance; Infiltration rate and Soil structural quality

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Escola Politécnica e de Artes como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás

² Graduando em Agronomia, Escola Politécnica e de Artes, Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: rodriguescostaluisfernado@gmail.com

³ Professor, Escola Politécnica e de Artes, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, E-mail: felipesantos@pucgoias.edu.br

INTRODUÇÃO

A resistência mecânica do solo é uma propriedade física que indica a dificuldade de penetração de raízes e ferramentas agrícolas, sendo diretamente relacionada à compactação. A técnica da penetrometria é amplamente utilizada para avaliar essa resistência, por meio de penetrômetros manuais, eletrônicos ou dinâmicos, que permitem diagnósticos rápidos em diferentes contextos (Qiao *et al.*, 2024; Mahore *et al.*, 2024).

Estudos como o de Vordoagu *et al.* (2019) demonstram correlações entre o índice de penetração (DPI) e atributos físicos como densidade seca e umidade, enquanto pesquisas da Universidade da Austrália Ocidental (Uwa, 2024) destacam a eficácia do penetrômetro dinâmico (DCP) na detecção de compactação causada por tráfego agrícola. A correta utilização desses instrumentos é essencial para garantir precisão, conforme orientações técnicas da Universidade de Wisconsin (UWSS, 2024).

A taxa de infiltração de água no solo é outro parâmetro fundamental, influenciando o ciclo hidrológico, a recarga de aquíferos e a erosão. Segundo Basche e DeLonge (2019), práticas agrícolas como o uso de culturas perenes e cobertura vegetal aumentam significativamente a infiltração. Ouyang, Ullah e Takatori (2025) destacam a importância da infiltração na modelagem hidrológica com o uso do modelo SWAT.

Modelos clássicos como os de Green-Ampt, Horton, Philip e Kostikov são amplamente utilizados para caracterizar a infiltração (Basset *et al.*, 2025). Nimmo e Shillito (2023) ressaltam a distinção entre fluxo difuso e preferencial, enquanto o USDA NRCS (2024) apresenta fatores como textura, estrutura e matéria orgânica como determinantes da capacidade de infiltração.

A densidade e porosidade do solo são propriedades interligadas que afetam diretamente a estrutura, a retenção de água e o crescimento radicular. A densidade aparente representa a massa de solo seco por volume total, enquanto a porosidade total refere-se ao volume de espaços vazios. Robinson *et al.* (2025) propõem um modelo multiescalar que conecta densidade à geometria das partículas e à matéria orgânica.

No contexto brasileiro, Gubiani, Reinert e Reichert (2012) avaliaram valores críticos de densidade relacionados à resistência à penetração e à demanda hídrica. A Embrapa Solos (2017) apresenta os principais métodos laboratoriais para determinação dessas propriedades. Carmo *et al.* (2018) demonstram que a degradação de pastagens aumenta a densidade e reduz a porosidade, afetando a qualidade física do solo.

Assouline (2014) discute como a densidade influencia as propriedades hidráulicas, enquanto Chaudhari *et al.* (2013) propõem modelos de regressão que relacionam densidade à textura, à matéria orgânica e aos nutrientes. A porosidade também está associada ao armazenamento de carbono, sendo relevante para estratégias de mitigação climática (Carbono, 2024).

O Cerrado Brasileiro, reconhecido como a segunda maior formação vegetal da América do Sul e um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (Embrapa, 2017), abriga uma ampla variedade de espécies nativas adaptadas a condições edáficas específicas, como solos ácidos, de baixa fertilidade e com estrutura porosa bem desenvolvida. A expansão de sistemas produtivos com espécies nativas do Cerrado, como baru, pequi, cagaita e araticum, tem despertado interesse por seu potencial ecológico, econômico e sociocultural, especialmente em práticas de agroecologia e restauração produtiva.

Nesse contexto, o estudo das características físico-hídricas do solo torna-se essencial para a compreensão das interações entre o solo e o desenvolvimento dessas espécies. A resistência mecânica à penetração está diretamente relacionada à compactação, que pode limitar o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes, afetando o desempenho das plantas nativas (Qiao *et al.*, 2024; Gubiani *et al.*, 2012). A taxa de infiltração, por sua vez, influencia a dinâmica hídrica do solo, a recarga de aquíferos e a disponibilidade de água para as plantas, sendo especialmente relevante em ambientes com regime pluviométrico sazonal como o Cerrado (Basche; Delonge, 2019; Ouyang *et al.*, 2025).

A porosidade do solo, incluindo macro e microporos, está associada à aeração, retenção de água e atividade biológica, sendo um indicador da qualidade estrutural do solo (Robinson *et al.*, 2025; Carmo *et al.*, 2018). Alterações nesses parâmetros, seja por práticas inadequadas de manejo ou por processos naturais, podem comprometer a sustentabilidade dos cultivos nativos e a conservação dos serviços ecossistêmicos. Portanto, a avaliação integrada desses atributos físicos do solo em áreas de cultivo de espécies nativas do Cerrado é fundamental para subsidiar estratégias de manejo conservacionista, promover a produtividade sustentável e contribuir para a preservação da biodiversidade e dos recursos naturais da região.

Sendo assim, avaliaram-se as características físico-hídricas do solo de uma área de pastagem convertida em fruticultura com nativas do Cerrado. Buscou-se caracterizar a porosidade, a taxa de infiltração e a resistência mecânica à penetração do solo desta área de policultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada na Escola Politécnica e de Artes, no Campus 2, na zona experimental de plantas alternativas do curso de Agronomia. Esta área possui aproximadamente 5000 m² e foi originalmente utilizada como pasto, contendo algumas árvores típicas do Cerrado, sendo convertida em fevereiro de 2025 para o cultivo de plantas frutíferas do Cerrado (Figura 01).

Figura 01. Área de estudo em destaque com cultivo de frutíferas nativas do Cerrado



Fonte: O autor via Google Earth

Foram avaliados cinco pontos na área que foram escolhidos de modo aleatório em ambos os eixos (x,y). Em cada ponto foi instalado o conjunto de anéis duplos concêntricos com o intuito de determinar a curva de infiltração de água (Stolf, 1991), a resistência mecânica do solo com uso do penetrometro de impacto até a profundidade de 40 cm em 3 pontos a um raio de dois metros do centro dos anéis utilizados na estimativa da taxa de infiltração (Mantovani; Bernardo; Palaretti. 2012). De modo complementar, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para estimativa da umidade (Embrapa, 2017). Os anéis volumétricos para estimativa da porosidade foram coletados no ponto médio das camadas de 0-20 e 20-40 cm (Embrapa, 2017).

Antes da realização das coletas em campo, foi elaborada uma análise prévia dos métodos e parâmetros a serem utilizados, com o intuito de assegurar a consistência e a confiabilidade dos resultados. Para tanto, foram selecionados os atributos físico-hídricos

considerados mais relevantes para a área de estudo: resistência mecânica à penetração, taxa de infiltração e porosidade do solo.

Após a coleta em campo, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas para a análise estatística descritiva (médias, desvios-padrão e coeficientes de variação). No ensaio de infiltração de água no solo os modelos de regressão foram submetidos ao teste de hipótese para cada coeficiente conforme descrito por Montgomery & Runger (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicaram valores médios de resistência mecânica à penetração de 2,23 MPa na camada de 0–20 cm e 3,54 MPa na camada de 20–40 cm (Tabela 01). Esses valores, embora superiores ao limite crítico de 2 MPa estabelecido por Beutler e Centurion (2004), ainda se encontram dentro de uma faixa considerada moderada para solos do Cerrado sob manejo conservacionista. Em contraste, o estudo de Filgueira (2025) revelou valores significativamente mais elevados, com 9,61 MPa na camada superficial (0–20 cm) e 8,76 MPa na subsuperficial (20–40 cm), representando um aumento de aproximadamente quatro vezes em relação aos valores observados.

Tabela 01. Parâmetros Físico hídrico da área sob Policultivo

Resistência Mecânica do Solo (MPa)						
Prof. (cm)	P1	P2	P3	P4	P5	Media
0-20	2,24	2,23	2,39	2,30	1,97	2,23b
20-40	3,26	2,84	4,35	4,12	3,15	3,54 ^a
0-40	2,75	2,54	3,37	3,21	2,56	2,89
Umidade Gravimétrica (%)						
0-20	26,97	25,61	25,37	25,10	28,73	26,36ns
20-40	25,57	24,83	24,27	23,27	26,28	24,84
0-40	26,27	25,22	24,82	24,19	27,50	25,60
Densidade do Solo (g/cm ³)						
0-20	1,47	1,32	1,43	1,39	1,31	1,39ns
20-40	1,41	1,34	1,46	1,40	1,31	1,39
0-40	1,44	1,33	1,45	1,40	1,31	1,39
Porosidade Efetiva (cm ³ /cm ³)						
0-20	0,41	0,45	0,37	0,40	0,47	0,42ns
20-40	0,43	0,40	0,37	0,42	0,46	0,41
0-40	0,42	0,42	0,37	0,41	0,46	0,42
Volume Total de Poros (cm ³ /cm ³)						
0-20	0,46	0,51	0,47	0,48	0,51	0,49ns
20-40	0,48	0,50	0,46	0,48	0,52	0,49
0-40	0,47	0,51	0,46	0,48	0,52	0,49
Continuidade de Poros (%)						
0-20	89,35	87,87	79,52	82,32	91,25	86,06ns*

20-40	89,36	79,22	79,92	88,12	88,24	84,97
0-40	89,36	83,55	79,72	85,22	89,74	85,52

Obs.: Há diferença significativa a 5% de probabilidade de erro quando há letras diferentes na mesma coluna pelo teste de Média de Tukey. *ns= Não há diferença significativa.

Essa discrepância pode ser atribuída a diferenças metodológicas e à escala de amostragem. Enquanto neste trabalho se avaliaram cinco pontos com enfoque em atributos físico-hídricos, Filgueira (2025) analisou 60 pontos distribuídos em malha regular, aplicando técnicas de geoestatística (krigagem) para mapear a variabilidade espacial. A maior amplitude de valores reportada (6,53 a 51,75 MPa) indica a presença de zonas críticas de compactação, possivelmente associadas ao histórico de uso da área e à heterogeneidade do solo (Silva *et al.*, 2004; Reichert *et al.*, 2008).

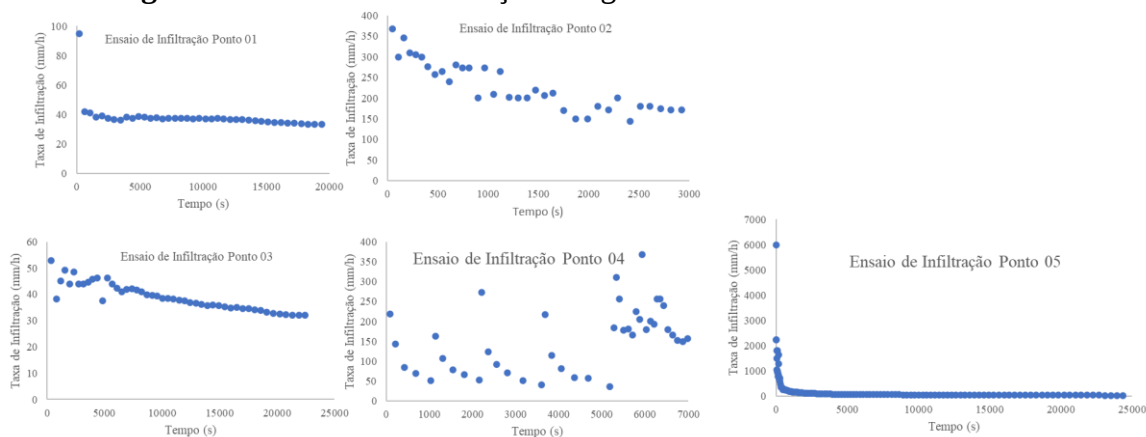
Observou-se umidade gravimétrica média de 26,36% na camada superficial e 24,84% na subsuperficial, sem diferença estatística significativa. Essa estabilidade sugere que o policultivo contribuiu para manter a capacidade de retenção hídrica, mesmo em condições de compactação moderada. Jacinto, embora não tenha apresentado valores numéricos de umidade na tabela principal, destacou correlação inversa entre RP e teor de água, corroborando estudos clássicos que indicam aumento exponencial da resistência com a redução da umidade (Imhoff *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 1994).

A densidade do solo manteve-se em 1,39 g/cm³ em ambas as profundidades, abaixo do limite crítico para solos argilosos do Cerrado ($\approx 1,55$ g/cm³), conforme Gubiani *et al.* (2012). A porosidade efetiva ($\approx 0,42$ cm³/cm³) e o volume total de poros ($\approx 0,49$ cm³/cm³) também não apresentaram diferenças significativas, indicando boa qualidade estrutural superficial. Esses atributos contrastam com os resultados de Jacinto, que sugerem maior adensamento em pontos específicos, evidenciado pelo coeficiente de variação (CV) de 59,43% na camada de 0–20 cm, considerado muito alto segundo Montgomery; Runger (2021).

A análise geoestatística realizada por Filgueira (2025) revelou dependência espacial da resistência mecânica, com ajuste de modelos esféricos e exponenciais e coeficientes de determinação (r^2) superiores a 0,95. Essa informação é estratégica para o manejo localizado, permitindo identificar áreas críticas para aplicação de práticas corretivas, como escarificação pontual ou inserção de espécies com raízes pivotantes (Whiteley; Dexter, 1984). Em contrapartida, os resultados observados apresentam menor variabilidade entre pontos.

A Figura 02, ilustra os ensaios de infiltração, confirma a presença de fluxo preferencial, típico de solos do Cerrado com raízes profundas e bioporos (Nimmo; Shillito, 2023). Essa característica é essencial para mitigar os efeitos da compactação, favorecendo a recarga hídrica e a manutenção da atividade biológica.

Figura 02. Ensaio de Infiltração de água no solo em área de Policultivo



Os ensaios de infiltração apresentaram alta variabilidade, com taxas variando de 32,4 mm/h (P3) a 180 mm/h (P4) e tempo de duração entre 3.029 s (P2) e 24.361 s (P5). A média da taxa foi de 91,90 mm/h, com CV de 83,42%, indicando heterogeneidade estrutural do solo. Essa variabilidade reflete a presença de zonas compactadas e áreas com bioporos, típicas de sistemas sob policultivo.

O comportamento observado pode ser explicado pelo modelo de Horton, que descreve a redução da taxa de infiltração ao longo do tempo até atingir um valor estável. Nos ensaios realizados, a taxa estável variou significativamente entre os pontos, reforçando a importância de práticas conservacionistas para melhorar a infiltração e reduzir riscos de erosão.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que este ambiente tem boa qualidade física do solo.

O monitoramento contínuo da resistência mecânica e da umidade do solo deve ser incorporado ao manejo.

REFERÊNCIAS

- ASSOULINE, S. Bulk density of soils and impact on their hydraulic properties. In: GLINSKI, J.; HORABIK, J.; LIPIEC, J. Encyclopedia of Agrophysics. Springer, 2014.
- BALBINO, L. C.; et al. Integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para a sustentabilidade da agricultura. Brasília: Embrapa, 2012.
- BASCHE, A. D.; DELONGE, M. S. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. PLOS ONE, v. 14, n. 9, 2019.

BASSET, C.; et al. Review of conceptual and empirical approaches to characterize infiltration. *Vadose Zone Journal*, v. 24, 2025.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração e intervalo hídrico ótimo no solo sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 571–579, 2004.

CARMO, M. C.; et al. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada. *Agrarian Academy*, v. 5, n. 10, p. 1–10, 2018.

CHAUDHARI, P. R.; et al. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter and nutrients. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 3, n. 2, p. 1–8, 2013.

EMBRAPA SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017.

FIGUEIRA, J. S. G. Análise da variabilidade da resistência mecânica do solo à penetração em sistema de policultivo. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2025.

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Valores críticos de densidade do solo avaliados por condições de contorno. *Ciência Rural*, v. 42, n. 11, p. 1894–1901, 2012.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Journal*, v. 5, p. 399–417, 1940.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 11–18, 2001.

MAHORE, V.; et al. An IoT-enabled Penetrometer with Constant-Rate Penetration for Accurate Measurement of Soil Cone Index. *Cogent Engineering*, v. 11, 2024.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 9. ed. Viçosa: UFV, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

NIMMO, J.; SHILLITO, R. Infiltration of water into soil. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, 2023.

OUYANG, Y.; ULLAH, S. M. A.; TAKATORI, C. Research hotspots and trends in soil infiltration at the watershed scale using the SWAT model. *Water*, v. 17, n. 3, 2025.

QIAO, H.; et al. Influence of Penetration Rate on Full-Flow Penetrometer Resistance in Underconsolidated Clay. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, 2024.

ROBINSON, D. A.; et al. Soil bulk density and porosity connecting macro- and micro-scales through geometry. *Earth-Science Reviews*, v. 240, 2025.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 249–252, 1991.

VORDOAGU, J. J.; et al. Correlation of Penetration Index of Dynamic Cone Penetrometer with Laboratory Dry Density and Moisture Content of Lateritic Gravel Soils. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 6, n. 4, p. 1234–1242, 2019.

ZORIN, L.; et al. Sistemas Agroflorestais e Sustentabilidade: O Papel das Áreas Integradas. *Revista Brasileira de Agricultura*, 2011.

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Luis Fernando Rodrigues Costa do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2020.1.0129.0004-4, telefone: 062 99666-8550 e-mail rodriguescostaluisfernando@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Caracterização Físico-Hídrica de Área de Policultivo em Cerrado Goiano”, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 26 de setembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIS FERNANDO RODRIGUES COSTA
Data: 30/09/2025 01:03:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor: _____

Nome completo do autor: Luis Fernando Rodrigues

Documento assinado digitalmente
gov.br FELIPE CORREA VELOSO DOS SANTOS
Data: 30/09/2025 07:57:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: Felipe Corrêa Veloso dos Santos