

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO DO CAPARAÓ/ES

Autores: Thays Camilo Souza¹, Gabriel Jubini Bellon², Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho³.

Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Ibatiba/ Núcleo de Estudos em Agroecologia e Educação Ambiental, Avenida 7 de Novembro, 40, Centro - 29395-000 - Ibatiba-ES, Brasil, cs_thays@outlook.com, gabrielbellonengamb23@gmail.com, acarvalho@ifes.edu.br.

Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar os atributos físicos do solo em três Sistemas Agroflorestais (SAFs) localizados nos municípios de Ibatiba e Lúna, região do Caparaó/ES. Foram analisados a densidade, porosidade, umidade e estabilidade de agregados (DMP e DMG), a fim de compreender a influência do manejo agroflorestal sobre a qualidade física do solo. A coleta das amostras seguiu metodologia da Embrapa (2017), em diferentes profundidades (0–10, 10–20 e 20–30 cm), com análises laboratoriais e estatísticas realizadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados evidenciaram menor densidade e maior porosidade nas áreas de implantação mais recente, associadas ao maior aporte de matéria orgânica e atividade radicular, além de maior estabilidade estrutural quando comparadas à área de mata nativa, onde a compactação foi mais evidente em camadas subsuperficiais. Conclui-se que os SAFs promovem melhorias na estrutura do solo, favorecendo o crescimento radicular e a infiltração de água, configurando-se como alternativa sustentável ao manejo convencional, com potencial de conciliar produtividade agrícola e conservação ambiental.

Palavras-chave: Qualidade física do solo. Sistemas agroflorestais. Estabilidade de agregados. Sustentabilidade agrícola.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica. Agronomia.

Introdução

A sustentabilidade da produção agrícola depende diretamente do uso e manejo adequado do solo, uma vez que práticas convencionais, baseadas no preparo intensivo e no monocultivo, têm provocado degradação física, perda de fertilidade e comprometimento dos recursos naturais (MACEDO, 2009).

Entre as principais alterações físicas estão a compactação, a redução da infiltração de água, a diminuição da porosidade e a alteração da estabilidade dos agregados (RICHART; *et al.*, 2004).

De acordo com Stefanoski *et al.* (2013), atributos como densidade, porosidade total, estabilidade de agregados, profundidade efetiva de enraizamento e distribuição do tamanho de partículas são indicadores fundamentais da qualidade física do solo (QFS). A classificação textural também desempenha papel importante, pois a proporção de areia, silte e argila influencia tanto a suscetibilidade à erosão quanto a coesão e estabilidade estrutural (BASTOS, 2004).

Nesse contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) destacam-se como alternativa sustentável ao manejo convencional, já que o consórcio entre espécies arbóreas e agrícolas contribui para a melhoria da estrutura do solo, aumenta a cobertura vegetal, reduz a compactação e favorece a infiltração e retenção de água (WATANABE, *et al.*, 2024). Além disso, a presença de raízes e de aporte contínuo de matéria orgânica favorece a formação e estabilização dos agregados, melhorando a resistência física do solo e a sua resiliência frente ao uso agrícola (BRANDÃO, 2012; SALTON *et al.*, 2008).

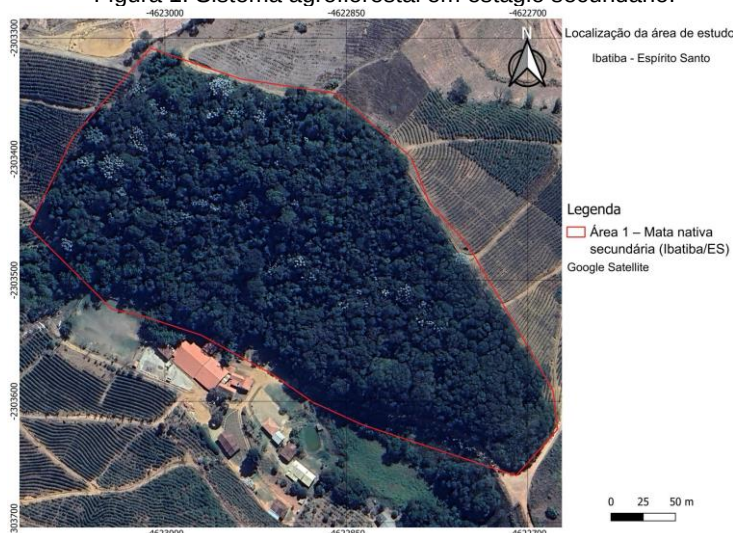
Dessa forma, este estudo tem como objetivo avaliar a qualidade física do solo em uma área de mata nativa já estabelecida e dois Sistemas Agroflorestais (SAFs) localizados na região sul do Espírito Santo, considerando parâmetros como densidade, porosidade, umidade, classificação textural e estabilidade de agregados. A análise desses atributos permite compreender os efeitos do manejo agroflorestal sobre a conservação estrutural do solo e sua contribuição para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Metodologia

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades situadas no sul do Espírito Santo, região do Caparaó. A primeira área está localizada no município de Ibatiba 20°14'04" S; 41°30'37" O, enquanto as demais se encontram no município de Iúna 20°20'53" S; 41°32'01" O (INCAPER, 2023).

Área 1 de mata nativa, em estágio avançado de sucessão ecológica, próxima à regeneração natural. Apresenta na figura 1 elevada diversidade de espécies arbóreas e estratificação bem definida. Localizada em Ibatiba, na região sul do Espírito Santo (Figura 1).

Figura 1: Sistema agroflorestal em estágio secundário.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Área 2 do sistema agroflorestal implantada há 4 anos, em fase primária, mas com desenvolvimento intermediário. Observa-se na figura 2 o crescimento ativo das espécies composto por banana, café, palmito e espécies nativas e início de estratificação. Localizada em Iúna, na região sul do Espírito Santo (Figura 2).

Figura 2: Sistema agroflorestal em estágio primário.

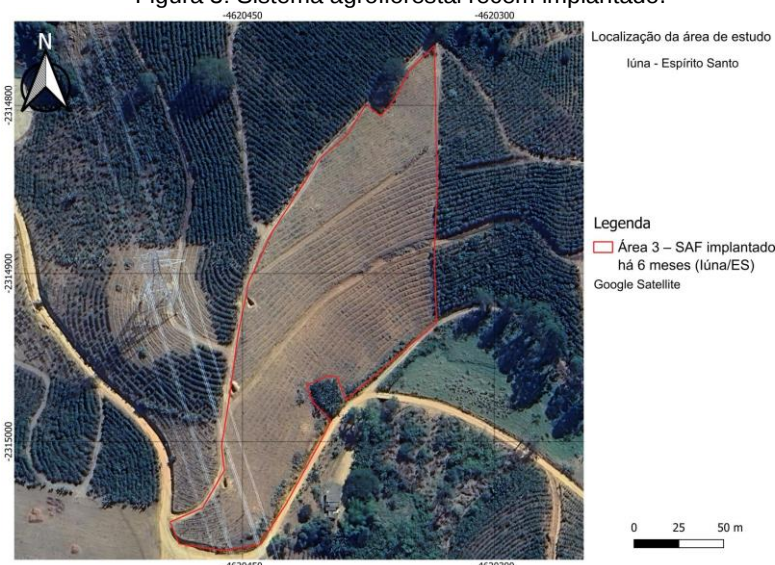


Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Na figura 3 a área 3 do sistema agroflorestal implantada há cerca de 6 meses, ainda em fase inicial de desenvolvimento. Nela predominam plantas de pequeno porte e mudas de árvores com cultivos de banana, café e espécies pioneiras. Está localizada no município de Iúna, na região sul do Espírito Santo (Figura 3).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 3: Sistema agroflorestal recém implantado.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A amostragem e análise seguiram a metodologia da EMBRAPA (2017). Foram coletadas 27 amostras deformadas, com 3 repetições por área, em profundidades de 0–10 cm, 10–20 cm e 20–30 cm, selecionadas aleatoriamente. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e mantidas à sombra até atingirem o ponto de friabilidade, sendo posteriormente secas ao ar.

As análises foram realizadas no Laboratório de Ciências Ambientais do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Ibatiba. Os blocos coletados em campo foram manualmente fragmentados, após atingirem o ponto de friabilidade, respeitando seus pontos de fraqueza até se obter uma subamostra representativa.

Para análise da estabilidade dos agregados, determinação por via seca. Os cálculos para diâmetro médio ponderado (DMP) seguiram a EMBRAPA (2017) equação 1, e o diâmetro médio geométrico (DMG) equação 2 mostra o tamanho mais frequente dos agregados, foi calculado segundo CASTRO FILHO (2002).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot d_i) \quad (1)$$

$$DMG = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i^n} \quad (2)$$

Sendo,

w_i = proporção de cada classe de agregados em relação ao total (%);

d_i = diâmetro médio de cada classe de agregados (mm).

w_p = peso dos agregados de cada classe (g);

A fim de identificar a umidade atual do solo, a amostra de TFSA foi colocada em uma lata de alumínio numerada e de peso conhecido. A amostra foi pesada e transferida para uma estufa a 105 °C, onde permaneceu por 24 horas. Após esse período, foi retirada da estufa e colocada em um dessecador até esfriar, momento em que foi pesada para a realização dos cálculos.

A umidade do solo (h) foi determinada pela relação entre a massa da água (M_a) presente em um determinado volume de solo e a massa da parte sólida (M_s) desse mesmo volume, de acordo com a equação 3 (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

$$h(\%) = \frac{(M_a - M_s)}{M_s} \cdot 100 \quad (3)$$

O método da proveta foi utilizado para determinar a densidade do solo (D_s), e a equação 4 foi empregada para corrigir o fator “f” de umidade.

$$D_p = \frac{D_s}{f} \quad (4)$$

A densidade de partículas (D_p) foi estabelecida utilizando o método do balão volumétrico. Em seguida, a porosidade total do solo foi determinada indiretamente, relacionando a densidade do solo à densidade de partículas, conforme a equação 5.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

$$\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_p} = \frac{V_p}{V_s} \quad (5)$$

A porosidade total (PT) foi determinada utilizando a relação entre a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p), conforme a equação 6.

$$PT = \frac{1 - \frac{\rho_s}{\rho_p}}{\rho_p} \quad (6)$$

A caracterização textural do solo foi realizada por meio do triângulo textural, utilizando as porcentagens das frações minerais obtidas na análise granulométrica.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($p < 0,05$) no software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Resultados

Na Tabela 1, observa-se diferença estatística significativa ao teste de Tukey ($p < 0,05$) para os parâmetros analisados. A densidade do solo (D_s) foi maior na área 1 ($1,13 \text{ kg dm}^{-3}$) e menor na área 3 ($0,95 \text{ kg dm}^{-3}$), diferindo entre si pelo teste de Tukey. A porosidade total (Pt) apresentou valores mais elevados na área 3 ($0,64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), diferindo estatisticamente da área 1 ($0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Já a umidade gravimétrica (CGA) e volumétrica (CVA) foram superiores na área 2, com diferença significativa em relação à área 1.

Tabela 1. Cálculo dos parâmetros físicos nas três áreas estudadas.

Área	CGA (kg/kg)	D_s (kg / dm^3)	CVA (m^3/m^3)	D_p (kg / dm^3)	Pt (m^3/m^3)
1	0,19 b	1,13 a	0,21 b	2,61 b	0,57 c
2	0,22 a	1,08 a	0,24 a	2,73 a	0,60 b
3	0,24 a	0,95 b	0,22 ab	2,68 ab	0,64 a
CV (%)	7,03	7,19	8,18	3,74	4,64

*Densidade do solo (D_s); Umidade volumétrica (CVA) e gravimétrica (CGA); Porosidade total (Pt); densidade de partículas (D_p). *Letras minúsculas iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 2, a estabilidade dos agregados (DMP e DMG) variou conforme a profundidade. Na área 1, houve redução significativa dos valores nas camadas de 10–20 cm e 20–30 cm, quando comparadas à camada superficial (0–10 cm). Em contraste, as áreas 2 e 3 não apresentaram diferenças significativas entre profundidades, mantendo valores estáveis e superiores de DMP e DMG.

Tabela 2. Dados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado das três áreas;

Área	DMP			DMG		
	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm	0 – 10 cm	10 – 20 cm	20 – 30 cm
1	3,97 Aa	3,86 Ba	3,55 Bb	3,80 Aa	3,60 Ba	3,16 Bb
2	4,14 Aa	4,12 ABa	4,24 Aa	3,99 Aa	3,98 ABa	4,15 Aa
3	4,14 Aa	4,26 Aa	4,30 Aa	4,06 Aa	4,18 Aa	4,25 Aa
CV (%)		3,66			5,10	

*Diâmetro médio ponderado (DMP); diâmetro médio geométrico (DMG). *Médias seguidas de pelo menos uma letra maiúscula iguais nas colunas, e letras minúsculas na linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Discussão

A densidade do solo (D_s) variou significativamente entre as áreas, com valores mais elevados na área 1 ($1,13 \text{ kg dm}^{-3}$) e menores na área 3 ($0,95 \text{ kg dm}^{-3}$). Essa diferença estatística indica que a área 1 apresenta maior grau de compactação, o que pode restringir o desenvolvimento radicular e reduzir a circulação de ar e água no perfil do solo. Por outro lado, a menor densidade encontrada na

área 3 sugere melhores condições estruturais, em consonância com Reichert et al. (2007), que estabelecem o limite crítico de $1,55 \text{ kg dm}^{-3}$ para solos de textura média.

A porosidade total (Pt) apresentou comportamento inverso, com diferenças estatísticas significativas: área 3 obteve o maior valor ($0,64 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), seguida da área 2 ($0,60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e da área 1 ($0,57 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Essa variação reforça a relação negativa entre densidade e porosidade (Marcolin; Klein, 2011), além de indicar que a maior presença de raízes e aporte de matéria orgânica nas áreas em implantação mais recente (2 e 3) contribuem para a formação de macroporos e a melhoria da estrutura.

A umidade gravimétrica (CGA) e volumétrica (CVA) também apresentaram diferenças estatisticamente significativas, com destaque para a área 2, que exibiu valores superiores em relação à área 1. Essa variação pode estar relacionada ao momento da coleta, uma vez que nas áreas 2 e 3 a amostragem foi realizada duas semanas após um período de chuva, o que possivelmente contribuiu para o maior teor de umidade observado.

No que se refere à estabilidade de agregados, os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) apresentaram variação estatística conforme a profundidade. Na área 1, observou-se redução significativa dos valores em camadas mais profundas (10–20 cm e 20–30 cm), sugerindo que a estabilidade estrutural está concentrada na camada superficial, possivelmente devido à maior presença de raízes e resíduos orgânicos na superfície. Em contraste, as áreas 2 e 3 mantiveram valores elevados e estatisticamente homogêneos em todas as profundidades, indicando maior resistência estrutural e melhor capacidade de manter agregados estáveis ao longo do perfil.

Conclusão

Os resultados demonstram que os Sistemas Agroflorestais (SAFs) avaliados apresentaram variações significativas nos atributos físicos do solo, destacando-se as áreas mais recentes de implantação pela menor densidade e maior porosidade, condições favoráveis ao crescimento radicular e à circulação de ar e água. A estabilidade de agregados manteve-se elevada nos SAFs, indicando maior resistência estrutural em relação à área de mata nativa, cuja compactação foi mais evidente em camadas subsuperficiais.

Assim como observado em outros sistemas de manejo agrícola na Microrregião do Caparaó, a qualidade física do solo está diretamente associada ao tipo de manejo adotado. Os resultados reforçam que os SAFs promovem melhorias na estrutura do solo quando comparados a sistemas convencionais, configurando-se como alternativa sustentável para conciliar conservação ambiental e produtividade agrícola.

Referências

- BARBOSA, K. N. A. **Especialização de granulometria de solo em lato solo vermelho em Ceres (GO). 2022.** Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (Bacharelado em Agronomia) Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, 2022.
- BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. F. **Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho.** Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.7, p.1193-1199, jul, 2012.
- CASTRO FILHO, C. **Atributos do solo avaliados pelos seus agregados.** In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo. Jaboticabal: Funep, 2002. p.21-46.
- CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- EMBRAPA - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: **um sistema computacional de análise estatística.** Ciência e agrotecnologia, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

HERNANI, L. C. **Agregação do solo**. Portal Embrapa Solos, 2021.

MACEDO, M. C. M. **Integração lavoura pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p.133-146, 2009.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. **Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima**. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, jun. 2011.

REICHERT, J.M.; SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. (2009). *"Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils."* Soil and Tillage Research, 102(2): 242-254.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação**. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C., FABRÍCIO, A. C.; BROCH, D. L. **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 11-21, 2008.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física**. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

TRUBER, P. V. **Agregação do solo e ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em sistemas de rotação de culturas**. 2013. BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 2004.

WATANABE, A S T., *et al.* **Avaliação dos aspectos físicos do solo de um SAF em comparação com o solo de uma área de sistema convencional**, 2024.

INCAPER, **Programa de assistência técnica e extensão rural**, 2023.

CHIODEROLI, C A; *et al.* **Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária**, 2011.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, campus Ibatiba, pelo apoio recebido e a FAPES pela bolsa de iniciação científica através do Edital PIBIC 03/2024. Ao Programa PPP do Ifes por meio do Edital 13/2025.