

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA
FILHO FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**TECNOLOGIA ACESSÍVEL PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO
SOLO E OTIMIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM**

Lucas Sonoda Ninomiya

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Coorientador: Dr.^a Kathleen Fernandes Braz

JABOTICABAL - SP

2º semestre/2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA
FILHO FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**TECNOLOGIA ACESSÍVEL PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO
SOLO E OTIMIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM**

LUCAS SONODA NINOMIYA

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias
e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para
graduação em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

JABOTICABAL – SP

2º Semestre/2025

N716t Ninomiya, Lucas Sonoda
Tecnologia acessível para avaliação da qualidade do solo e
otimização da amostragem / Lucas Sonoda Ninomiya. --
Jaboticabal, 2025
35 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: José Marques Júnior
Coorientadora: Kathleen Fernandes Braz

1. Estabilidade dos agregados. 2. Aplicativo Slakes. 3.
Qualidade do solo. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



LUCAS SONODA NINOMIYA

**TECNOLOGIA ACESSÍVEL PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E
OTIMIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. José Marques Júnior
Coorientador: Dr.^a Kathleen Fernandes Braz

Área de Concentração: Ciência do Solo

Data da defesa: 31/07/2025

(X) Aprovado
() Reprovado

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE MARQUES JUNIOR
Data: 04/08/2025 12:23:37-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. José Marques Júnior
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

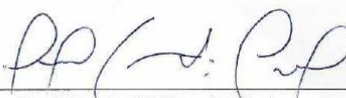
Documento assinado digitalmente
gov.br DOUGLAS HENRIQUE BANDEIRA
Data: 04/08/2025 16:41:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Douglas Henrique Bandeira
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br EVERTON MOLINA CAMPOS
Data: 11/08/2025 14:54:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Eng. Agrônomo Everton Molina Campos
Grupo Casa Bugre

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 14 / 08 / 2025 Aprovado Ad Referendum do Conselho do Departamento


Prof. Dr. José Eduardo Corá
Chefe do Departamento de Ciência do Solo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, por toda a bênção e sabedoria concedidas durante essa fase significativa da minha vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, e ao Departamento de Ciência do Solo.

Especialmente ao Grupo CSME; ao meu orientador, Prof. Dr. José Marques Júnior; à coorientadora, doutoranda Kathleen Fernandes; e aos companheiros de laboratório, Dra. Denise de Lima Dias Delarica, Dra. Mara Regina Moitinho e Luana Oliveira, que, desde o início, confiaram em mim, sempre ampliando meu conhecimento e fazendo-me enxergar caminhos e oportunidades que a pesquisa e a ciência podem proporcionar.

Minha sincera gratidão ao Professor Tom Vanwalleghem, por sua orientação inestimável durante meu período na Espanha. Seu incentivo para explorar novas áreas de pesquisa e sua visão sobre possibilidades acadêmicas futuras foram especialmente inspiradores. Estendo meus agradecimentos à Universidade de Córdoba, no campus de Rabanales, pela excelente infraestrutura de pesquisa que possibilitou a realização de todo o trabalho experimental.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa - 2024/17805-6

À minha família: minha mãe, Marisa Harumi Sonoda; meu pai, Nei Ninomiya; e minha irmã, Amanda Sonoda Ninomiya, por toda a segurança e confiança que me proporcionaram em cada etapa durante esses anos longe de casa, sempre me apoiando, independentemente da ocasião. Também à minha madrinha, Marilena Fugiko Ninomiya, e ao meu avô, Geraldo Taqueo Ninomiya, que, desde a infância, me fizeram enxergar como os estudos são importantes em nossa vida.

Por fim, à República Agrotóxica, pela união, motivação e pelos momentos incríveis durante esses anos juntos, tornando-se minha segunda família. E também aos amigos que estiveram presentes durante a graduação.

ARTIGO PREPARADO CONFORME AS NORMAS DA REVISTA “Pesquisa
Agropecuária Tropical”

Melhoria da Avaliação da Qualidade do Solo por Meio de Indicadores Simples e Alternativos e
Otimização da Amostragem

Lucas Sonoda Ninomiya^{1*}, Kathleen Fernandes Braz¹, José Marques Júnior¹.

¹Laboratório de Geologia e Mineralogia do Solo - Raio X, Departamento de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Jaboticabal, 14884-900, São Paulo, Brasil; ls.ninomiya@unesp.br; klfagronomia@gmail.com; jose.marques-junior@unesp.br.

* Correspondência para: Lucas Sonoda Ninomiya, Laboratório de Geologia e Mineralogia do Solo - Raio X, Departamento de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” Jaboticabal, 14884-900, São Paulo, Brasil Tel: +55 11 99740-8826, e-mail: ls.ninomiya@unesp.br.
ORCID: 0009-0002-6073-8069

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	5
2.1	Área de estudo	5
2.2	Coleta de amostras	5
2.3	Análises laboratoriais.....	7
2.3.1	Textura do solo	8
2.3.2	Carbono.....	10
2.3.3	pH	10
2.3.4	Cor do Solo	11
2.3.5	Estabilidade de agregados (aplicativo SLAKES).....	12
2.4	Análise estatística	13
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4	CONCLUSÃO.....	22
5	REFERÊNCIAS	23
	NORMAS DA REVISTA “PESQUISA AGROPECUÁRIA TROPICAL”	26

RESUMO

A saúde do solo é um componente essencial da agricultura regenerativa, com papel fundamental na sustentabilidade dos agroecossistemas. A qualidade do solo influencia diretamente sua capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos, como armazenamento de carbono, regulação hídrica e ciclagem de nutrientes. O manejo inadequado pode levar à degradação estrutural, reduzindo a estabilidade do solo e aumentando a suscetibilidade à erosão. Este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico do solo e da estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo, utilizando o aplicativo SLAKES para otimização dos esquemas de amostragem e métodos de predição espacial. O estudo foi conduzido com amostras coletadas em duas áreas experimentais no entorno da Universidade de Córdoba, Espanha: uma área de conservação sem histórico recente de uso (Fazenda Yeguerizo) e outra com manejo pecuário intensivo (Fazenda La Vacadilla). Foram coletadas quarenta amostras de solo em duas profundidades e ambientes com diferentes coberturas vegetais. As análises incluíram textura, pH, cor, carbono orgânico e estabilidade de agregados por métodos convencionais e pelo SLAKES. Os resultados mostraram forte correlação entre estabilidade de agregados e carbono orgânico, além de maior estabilidade em áreas com cobertura vegetal. A análise estatística indicou que a maior parte da variação na estabilidade dos agregados pode ser explicada pelo teor de carbono, e a cor do solo mostrou relação inversa com a estabilidade. Os resultados demonstram o potencial do SLAKES como ferramenta prática e de baixo custo para avaliação da saúde do solo, contribuindo para o manejo sustentável em diferentes agroecossistemas.

PALAVRAS-CHAVE: estabilidade de agregados, carbono do solo, saúde do solo.

Accessible Technology for Soil Quality Assessment and Sampling Optimization

ABSTRACT

Soil health is an essential component of regenerative agriculture, playing a key role in the sustainability of agroecosystems. Soil quality directly affects its ability to provide ecosystem services such as carbon storage, water regulation, and nutrient cycling. Inadequate management can lead to soil structure degradation, reducing its stability and increasing susceptibility to erosion. This study aimed to evaluate the spatial variability of soil organic carbon and aggregate stability under different management systems, using the SLAKES application to optimize sampling schemes and spatial prediction methods. The study was conducted using samples collected from two experimental areas near the University of Córdoba, Spain: a conservation area with no recent land use (Yeguerizo Farm) and an area under intensive livestock management (La Vacadilla Farm). Forty soil samples were collected at two depths and under different vegetation cover conditions to assess structural and chemical variations. Analyses included soil texture, pH, soil color, organic carbon, and aggregate stability using both traditional methods and the SLAKES app. The results showed a strong correlation between aggregate stability and organic carbon. Greater stability was observed under vegetation cover, and statistical analysis indicated that most of the variation in aggregate stability was explained by organic carbon content. Soil color (Munsell value) was inversely related to aggregate stability. The results confirm the potential of SLAKES as a practical, low-cost tool for soil health assessment and support its use to improve conservation management across agroecosystems.

KEYWORDS: aggregate stability, soil carbon, soil health.

1 INTRODUÇÃO

À medida que se acumulam evidências sobre as mudanças climáticas induzidas por ações humanas, a atenção de pesquisadores ao redor do mundo tem se concentrado em seus potenciais impactos sobre o meio ambiente (Giang et al., 2017; Hatfield et al., 2020). Nesse contexto, o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019) abordou temas como desertificação, degradação do solo e intensificação dos processos erosivos, destacando que o solo está sujeito a diversas ameaças no futuro. A erosão do solo, em particular, representa uma das maiores ameaças globais à sustentabilidade ambiental (Panagos et al., 2018; Jiang et al., 2019; Borrelli et al., 2020; Bhattacharya et al., 2020).

Nesse cenário, a saúde do solo surge como um componente essencial da agricultura regenerativa, sendo fundamental para a resiliência dos agroecossistemas (Newton et al., 2020). Sua avaliação permite compreender o potencial do solo em fornecer serviços ecossistêmicos, como o armazenamento de carbono, a regulação do ciclo hidrológico e a ciclagem de nutrientes. No entanto, a degradação da estrutura do solo por práticas inadequadas de manejo compromete esses serviços, tornando urgente a busca por estratégias sustentáveis que promovam a conservação da matéria orgânica e a estabilidade dos agregados (O'Donoghue et al., 2022).

A estabilidade de agregados é amplamente reconhecida como um dos principais indicadores da saúde do solo, sendo influenciada por fatores como a presença de matéria orgânica, atividade microbiana e práticas de manejo (Stewart et al., 2018; Cherubin et al., 2024; De Araújo et al., 2012). Solos bem agregados apresentam maior infiltração de água, menor risco de compactação e maior resistência à erosão (Hamza & Anderson, 2002; 2003). Estudos demonstram que a estabilidade de agregados está positivamente correlacionada ao teor de carbono orgânico, já que este favorece a ligação entre partículas do solo e a formação

de macroagregados estáveis (Tisdall & Oades, 1982). Além disso, microrganismos e resíduos orgânicos desempenham papel fundamental na agregação do solo, promovendo a estabilidade física e a proteção contra a desagregação (Lynch & Bragg, 1985; Le Bissonnais, 1996).

Apesar de sua importância, os métodos tradicionais de avaliação da estabilidade de agregados, como o peneiramento úmido de Kemper & Rosenau (1986), são trabalhosos, custosos e pouco acessíveis para aplicações em larga escala. Há métodos qualitativos mais simples, como o de Emerson (1967) ou kits de campo como os descritos por Herrick et al. (2001), porém sem resultados quantitativos comparáveis. Visando suprir essa lacuna, pesquisadores da Universidade de Sydney desenvolveram o SLAKES, um aplicativo gratuito de smartphone que quantifica a estabilidade de agregados por meio da captura e análise de imagens da desagregação dos torrões em água (Fajardo et al., 2016).

Essa abordagem representa um avanço significativo para a caracterização da saúde do solo, ao permitir medições consistentes, rápidas e de baixo custo em diferentes pontos de amostragem. Stewart et al. (2018) destacam a importância da padronização de indicadores para comparabilidade entre áreas e monitoramento contínuo da qualidade do solo. Ferramentas como o SLAKES, aliadas a atributos visuais simples como a cor do solo (Viscarra Rossel et al., 2006), ampliam a possibilidade de avaliação em propriedades rurais e ambientes com recursos limitados.

Com base nesse contexto, levantou-se a hipótese de que áreas sob manejo conservacionista apresentariam maior estabilidade de agregados e teores de carbono orgânico, em comparação a áreas com uso intensivo do solo. Além disso, acredita-se que a cor do solo e o aplicativo SLAKES podem funcionar como indicadores práticos e eficazes para avaliar a qualidade estrutural do solo e contribuir para a otimização de esquemas de amostragem.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial do carbono orgânico do solo e da estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo, bem como testar o uso de indicadores simples, como a cor do solo e o aplicativo SLAKES, na otimização de esquemas de amostragem e métodos de predição espacial voltados à saúde do solo e ao risco de erosão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido na Universidade de Córdoba (37,904030; -4,724310), em Córdoba, Espanha (Figura 1).

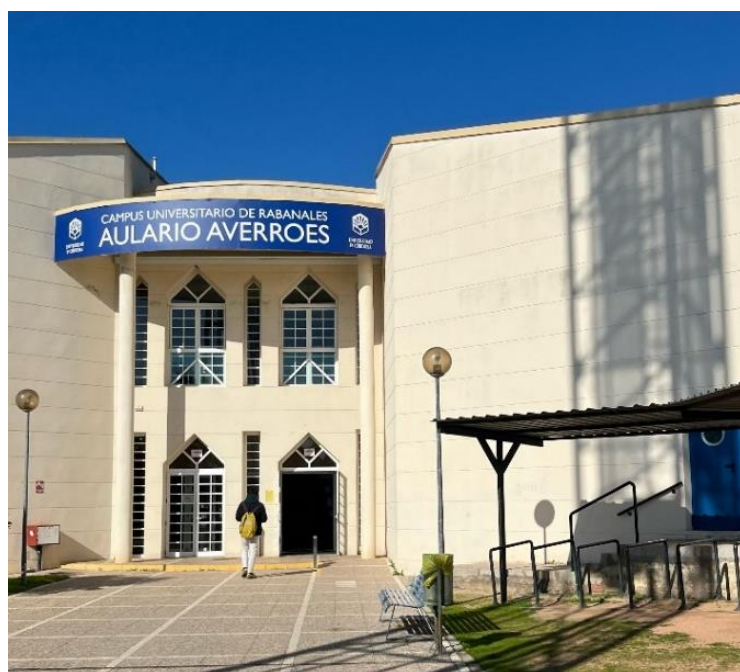


Figura 1. Universidade de Córdoba (UCO) – Campus de Rabanales. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.2 Coleta de amostras

A coleta de solos foi realizada em duas áreas no sul da Espanha, localizadas na região de Andaluzia, próximas à cidade de Córdoba. A primeira área se denomina como Fazenda Yeguerizo (38°15'22.00"N; 4°16'54.06"W), caracterizada por adotar um sistema

conservacionista, sem uso intensivo da produção agrícola ou pecuária. Está área se encontra dentro do Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro, onde as ações são voltadas à preservação da biodiversidade, com destaque para os anfíbios, por meio da criação de habitats e manejo ecológico. Em contrapartida, a segunda área se chama Fazenda La Vacadilla (38°17'54.12"N; 4°26'11.14"W), representando um ambiente de uso intensivo voltado à pecuária, sendo utilizada como área de pastagem para gado bovino, o que implica em trânsito constante de animais, pisoteio e compactação do solo — condições comuns em sistemas intensivos de manejo.

O clima da região é classificado como mediterrâneo semiárido (Csa, segundo Köppen), com verões quentes e secos, e invernos amenos e chuvosos. A temperatura média anual é de aproximadamente 18 °C, e a precipitação média anual é inferior a 600 mm, concentrada no outono e inverno (Giang et al., 2017; Hatfield et al., 2020).

A geologia local é composta principalmente por formações sedimentares, como margas, calcários e conglomerados, o que influencia diretamente a mineralogia dos solos (Borelli et al., 2020). Os solos predominantes são classificados como Cambissolos (Inceptisols) e Luvisolos (Alfisols), desenvolvidos sob vegetação natural de pastagens e florestas esparsas, com ocorrência de áreas destinadas à pecuária extensiva. Esses solos apresentam moderada evolução pedogenética, com horizontes B incipientes, e variam em textura conforme o relevo e o uso (Soil Survey Staff, 2014).

Essas características tornam a região adequada para estudos sobre a estabilidade de agregados, pois apresentam contrastes marcantes entre sistemas conservacionistas (Yeguerizo) e intensivos (La Vacadilla), além de permitir a análise da influência da cobertura vegetal e das camadas superficiais do solo (Cherubin et al., 2024; De Araújo et al., 2012).

Em cada propriedade, foram amostrados dois ambientes distintos (sob a projeção da copa de árvores e áreas abertas fora da influência da copa), com a coleta de 5 amostras nas

profundidades de 0–5 cm e 5–10 cm em cada ambiente, totalizando 20 amostras por área e 40 amostras no total para o estudo. Todas as amostras foram georreferenciadas com GPS para garantir o registro preciso dos pontos de coleta (Figura 2).



Figura 2. Caracterização da área de estudo e esquema de amostragem na Fazenda La Vacadilla. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.3 Análises laboratoriais

As amostras de solo foram secas em estufa a 105 °C por 24 horas, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para posterior análise laboratorial (Figura 3).



Figura 3. Secagem das amostras de solo em estufa a 105 °C. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.3.1 Textura do solo

Neste procedimento, 40 g de solo seco ao ar e destorroado foram pesados e transferidos para o copo metálico do agitador. Adicionaram-se 100 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (Calgon® a 6%) como agente dispersante, seguido de homogeneização e repouso por 10 minutos para garantir a hidratação completa. O volume foi então completado com 200 mL de água deionizada, transferindo-se a suspensão quantitativamente para o copo metálico do agitador quando necessário, com o auxílio de uma lavadora de frascos.

A suspensão foi submetida à agitação mecânica por 5 minutos em agitador de alta rotação (≈ 10.000 rpm) para garantir a dispersão completa das partículas (Figura 4). Esse processo assegurou a separação eficiente dos agregados, preparando a amostra para a etapa de sedimentação.



Figura 4. Agitação da suspensão solo dispersante em agitador mecânico (5 min, 10 000 rpm) para análise granulométrica pelo método de Bouyoucos. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

A suspensão foi transferida quantitativamente para uma proveta graduada de 1 L, completando o volume com água deionizada até a marca. Adicionaram-se algumas gotas de álcool isoamílico para eliminar a espuma superficial. Após agitação vigorosa com bastão de vidro, iniciou-se imediatamente a cronometragem ($t = 0$) para o processo de sedimentação

(Figura 5).



Figura 5. Transferência da suspensão para proveta graduada de 1 L e início da sedimentação ($t = 0$) na análise granulométrica. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

As leituras do densímetro (em g L^{-1}) foram realizadas nos seguintes tempos: 30 segundos, 1, 5, 10, 30, 60, 120 e >300 minutos. O densímetro foi inserido 30 segundos antes de cada leitura para estabilização, evitando contato com as paredes da proveta. A temperatura da suspensão foi registrada a cada intervalo para correções posteriores.

Foi realizado um teste branco com água + Calgon para determinar L_0 (densidade do líquido dispersante). O diâmetro das partículas (D_i) e a porcentagem em suspensão (P_i) foram calculados com base em equações específicas, com correções para temperatura e presença de matéria orgânica, quando aplicável. As porcentagens de areia (50–2000 μm), silte (2–50 μm) e argila ($<2 \mu\text{m}$) foram determinadas a partir das curvas de distribuição granulométrica. A classificação textural final foi realizada por meio do diagrama triangular USDA (Soil Survey Staff, 2014), garantindo a correta identificação da classe textural de cada amostra.

Todas as análises foram realizadas em triplicata para garantir a precisão dos resultados. A temperatura foi mantida constante ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) durante as leituras e o densímetro foi calibrado antes de cada série de análises, assegurando a confiabilidade e reprodutibilidade dos dados obtidos.

2.3.2 Carbono

Todas as amostras foram peneiradas em malha de 2 mm para separação da fração terra fina (<2 mm), utilizada na análise de carbono. Em seguida, entre 25 e 30 mg dessa fração foram moídos e peneirados em malha de 0,5 mm. O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação termocatalítica a 800 °C, utilizando o analisador elementar CHNS Eurovector EA 3000 (por exemplo, Giacometti et al., 2013) (Figura 6).



Figura 6. Amostras de solo após preparo para determinação de carbono orgânico total. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.3.3 pH

As análises de pH foram realizadas com um medidor de bancada da marca XS Instruments, modelo PC 7, equipado com eletrodo de vidro e suporte articulado. O equipamento possuía agitador magnético embutido para homogeneização da amostra e foi previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,01; 7,00; e 10,01.

Para as medições, 10 g de solo seco e peneirado (<2 mm) foram pesados e homogeneizados com 25 mL de água destilada (proporção 1:2,5). A suspensão foi agitada magneticamente por 30 minutos para atingir o equilíbrio. Após o repouso, o eletrodo foi imerso no sobrenadante e as leituras foram registradas à temperatura ambiente ($23,3 \pm 1$ °C) (Figura 7).



Figura 7. Medidor de bancada XS Instruments modelo PC 7, equipado com eletrodo de vidro e suporte articulado, utilizado para determinações de pH do solo. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.3.4 Cor do Solo

A determinação da cor do solo foi realizada por comparação visual direta das amostras úmidas e homogeneizadas com a Carta de Cores de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975), avaliando os componentes matiz (Hue – escala de 5R/vermelho puro a 5Y/amarelo puro), valor (Value – intensidade de luminosidade de 0/preto a 10/branco) e croma (Chroma – saturação da cor de 0/neutro a 8/máxima saturação), seguindo um procedimento padronizado por três avaliadores independentes para garantir a consistência dos resultados (Figura 8).

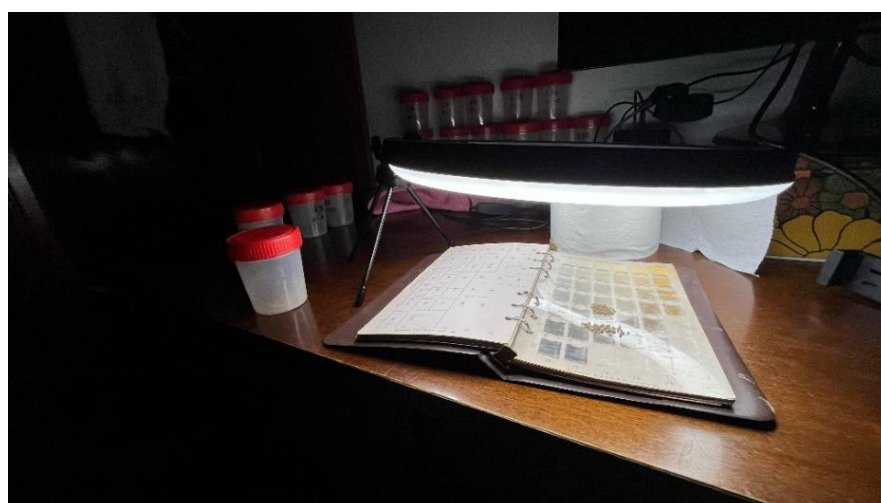


Figura 8. Determinação da cor do solo utilizando a Carta de Cores de Munsell. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).



Figura 9. Carta de Cores de Munsell utilizada nas avaliações. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

2.3.5 Estabilidade de agregados (aplicativo SLAKES)

A estabilidade dos agregados foi avaliada utilizando o aplicativo SLAKES em smartphone, conforme validado por Fajardo et al. (2016). Para as análises, três torrões com diâmetro entre 2 e 15 mm (preferencialmente ~10 mm e simétricos) foram selecionados de cada amostra e colocados em placas de Petri de 100 mm sobre papel branco, para melhor contraste visual. O celular foi posicionado em um suporte ajustável à altura ideal para enquadrar toda a placa durante a gravação. Os agregados foram cuidadosamente transferidos para água deionizada, mantendo-se sua orientação original, e o experimento foi iniciado pelo aplicativo, que registrou continuamente as imagens por 10 minutos para análise da desagregação (Figura 10).



Figura 10. Registro visual do experimento com o aplicativo SLAKES para avaliação da estabilidade de agregados do solo. A imagem da esquerda representa o início do experimento ($t = 0$ min), com os agregados ainda íntegros. A imagem central mostra o estado dos agregados após 5 minutos, com início de desagregação. A imagem da direita apresenta os agregados ao final do experimento ($t = 10$ min), evidenciando o grau de desagregação em água deionizada. **Fonte:** Acervo pessoal do autor (2025).

Com base na variação da área visível dos agregados durante o tempo de imersão, o SLAKES calcula o índice de estabilidade dos agregados (IStab). Esse índice é apresentado como um valor numérico que varia de 0 a 1, permitindo quantificar a resistência dos agregados à desagregação em água.

Valores mais próximos de 1 indicam alta estabilidade estrutural, ou seja, os agregados permaneceram praticamente intactos ao longo do tempo, sugerindo boa estrutura do solo. Já valores mais próximos de 0 representam baixa estabilidade, evidenciando rápida desagregação e, portanto, maior suscetibilidade à erosão, compactação e menor qualidade física do solo.

2.4 Análise estatística

Para a análise dos dados, foi utilizado o ambiente R (v4.3.1), com os pacotes ggplot2 (Wickham, 2016), lavaan (Rosseel, 2012), ggtern (Hamilton, 2018) e multcomp (Hothorn et al., 2008). A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias foi avaliada por meio do teste de Levene. As relações lineares entre variáveis contínuas (IStab, C, argila, silte, areia, valor e pH) foram analisadas utilizando o coeficiente de correlação de Pearson.

As diferenças entre grupos (como matiz da cor pelo Munsell e profundidade) foram testadas por ANOVA de uma via, com teste de Tukey como pós-teste ($\alpha = 0,05$).

Adicionalmente, aplicou-se modelagem de equações estruturais para avaliar relações causais entre IStab, carbono orgânico e atributos do solo. A composição textural foi analisada por meio de diagrama ternário, e os resultados foram apresentados graficamente por médias $\pm$ erro padrão ou distribuições por meio de boxplots, conforme apropriado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Relação entre a estabilidade de agregados (IStab) e o carbono orgânico

Os resultados demonstraram uma correlação positiva significativa entre o índice de estabilidade de agregados (IStab) e o teor de carbono orgânico do solo ($r = 0,65$; $p < 0,01$), corroborando o papel fundamental da matéria orgânica na formação e estabilização de agregados do solo (Tisdall & Oades, 1982) (Figura 11). Esse padrão foi particularmente evidente na área da Fazenda Yeguerizo (área de conservação), onde os maiores teores de carbono ($>4\%$) coincidiram com valores de IStab superiores a 0,8.

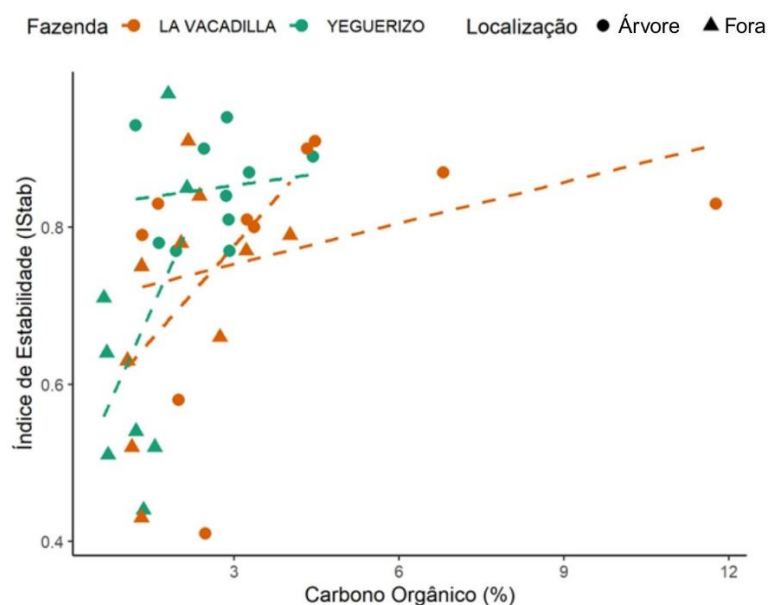


Figura 11. Correlação entre a estabilidade de agregados (IStab) e o teor de carbono orgânico do solo (%) nas diferentes áreas do estudo ($n = 40$). Relação avaliada por análise de correlação de Pearson ($r = 0,65$; $p < 0,01$).

Na Fazenda La Vacadilla, por outro lado, mesmo com teores de carbono excepcionalmente elevados (11,77% na amostra ARBOL 0–5 cm), os valores de IStab foram relativamente mais baixos (0,81), sugerindo que a compactação do solo (com densidade aparente $>1,6 \text{ g cm}^{-3}$) pode ter limitado a formação de agregados estáveis, como também foi observado por Six et al. (2004) em solos sob manejo intensivo e ilustrado na figura 11 pelas amostras fora da tendência geral.

A relação entre carbono orgânico e estabilidade estrutural também foi evidenciada por Bronick & Lal (2005), que destacam que compostos húmicos, polissacarídeos microbianos e raízes finas promovem ligações físicas mais duráveis entre partículas, resultando em agregados mais resistentes à ação da água. Essa função biológica da matéria orgânica é especialmente importante em ambientes menos perturbados, como os observados em Yeguerizo.

No entanto, em sistemas compactados como La Vacadilla, a presença de carbono orgânico, por si só, não garante uma boa estabilidade estrutural. Hamza & Anderson (2005) apontam que a compactação excessiva reduz a porosidade, limita o crescimento radicular e a atividade microbiana, comprometendo os mecanismos de formação de agregados, mesmo quando há disponibilidade de matéria orgânica.

Além da quantidade de carbono, sua qualidade também influencia diretamente a estabilidade estrutural. Portanto, os baixos valores de IStab em algumas amostras ricas em carbono podem ser explicados por predominância de carbono estabilizado, de menor atividade biológica.

3.2 Efeito da cobertura vegetal

As áreas sob copas de árvores apresentaram valores significativamente mais elevados de estabilidade de agregados (IStab) em comparação às áreas abertas ($\Delta = 0,18$; $p < 0,001$; teste de Tukey), sendo essa diferença mais pronunciada na Fazenda Yeguerizo (28%) do que

na Fazenda La Vacadilla (15%) (Figura 12).

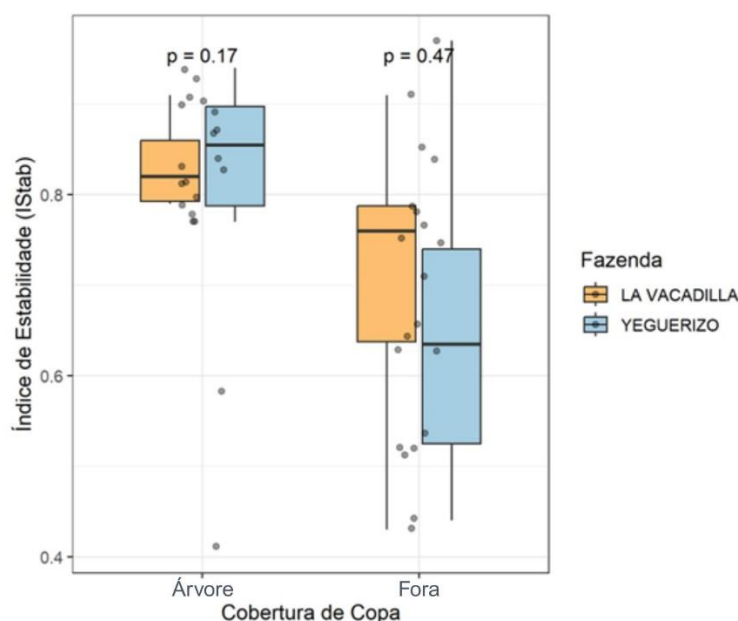


Figura 12. Comparação da estabilidade de agregados (IStab) entre áreas sob copas arbóreas (ARBOL) e áreas abertas (FUERA), nas duas propriedades avaliadas ($n = 40$). Diferenças avaliadas por ANOVA seguida de teste de Tukey ($p < 0,001$).

Esse resultado corrobora o conceito de “ilhas de fertilidade” promovidas por espécies arbóreas em ecossistemas de pastagem e savana, descrito por Belsky et al. (1989). Segundo os autores, a presença de árvores contribui para o aumento do carbono no solo, tanto por aporte de serapilheira e raízes finas quanto por efeitos físicos, como sombreamento e retenção de umidade. Essa combinação favorece a atividade microbiana, a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva e a formação de agregados mais estáveis.

Além disso, árvores atuam como estruturas que reduzem a variação térmica e protegem o solo do ressecamento, o que favorece a manutenção da microbiota responsável por exsudatos agregantes (Rillig et al., 2002). Esse microclima sob a copa pode explicar os valores consistentemente elevados de IStab em ambas as fazendas, especialmente em Yeguerizo, onde o uso antrópico é reduzido.

A menor diferença observada na Fazenda La Vacadilla (15%) pode estar relacionada ao pisoteio animal, que tende a homogenizar as propriedades físicas do solo, como estrutura

e densidade, independentemente da cobertura vegetal (Greenwood & McKenzie, 2001). Em ambientes com alta compactação, os benefícios proporcionados pela vegetação arbórea podem ser parcialmente anulados por efeitos físicos degradantes, como o selamento da superfície e a redução da porosidade.

É importante considerar também a possível diferença entre espécies arbóreas em sua capacidade de influenciar o solo. Segundo Bargués-Tobella et al. (2014), o tipo de árvore, seu sistema radicular e o padrão de deposição de serapilheira afetam diretamente a magnitude do efeito positivo na estabilidade de agregados.

3.3 Variação da Estabilidade de Agregados com a Profundidade do Solo

A camada superficial (0–5 cm) apresentou valores de IStab 18% superiores em relação à subsuperficial (5–10 cm) ($p < 0,05$; teste de Tukey), um padrão consistente com a estratificação vertical da matéria orgânica em solos não perturbados (Jastrow et al., 1996) (Figura 13). A maior estabilidade observada na superfície reflete tanto a maior concentração de raízes finas e atividade microbiana (Rillig et al., 2002), quanto a proteção contra o impacto direto das gotas de chuva (Le Bissonnais, 1996). Essa diferenciação vertical é essencial para a função hidrológica do solo, uma vez que agregados estáveis na superfície favorecem a infiltração de água e reduzem o escoamento superficial (Bronick & Lal, 2005).

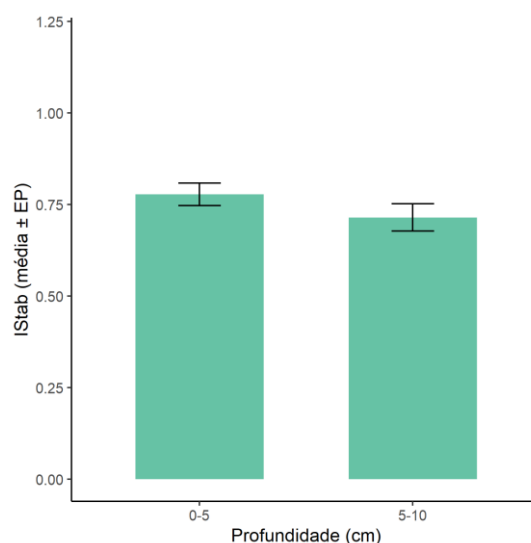


Figura 13. Diferença na estabilidade de agregados (IStab) entre a camada superficial (0–5

cm) e a subsuperficial (5–10 cm) do solo ($n = 40$). Diferenças significativas determinadas por ANOVA e pós-teste de Tukey ($p < 0,05$).

Além disso, a maior estabilidade na camada de 0–5 cm também pode estar relacionada à maior abundância de carbono orgânico lábil, matéria orgânica particulada e glomalina, substâncias que atuam como agentes cimentantes e estão fortemente associadas a processos biológicos mais ativos próximos à superfície (Six et al., 2004; Fernández et al., 2021). Estudos anteriores também demonstraram que práticas de manejo conservacionistas promovem uma acumulação de carbono mais pronunciada nas camadas superficiais, o que contribui diretamente para a formação e manutenção de macroagregados estáveis (Aziz et al., 2013; Stewart et al., 2018).

A redução da estabilidade com a profundidade pode ainda ser explicada por menor atividade microbiana e menor presença de exsudatos radiculares, fatores essenciais para a agregação biológica do solo (Rillig et al., 2002; Tisdall & Oades, 1982). A menor exposição da camada subsuperficial aos resíduos vegetais e às interações bióticas resulta, portanto, em agregados mais frágeis e suscetíveis à desestruturação.

Esses achados reforçam que, mesmo em solos com histórico conservacionista, o potencial de estabilidade é muito mais pronunciado nas camadas superiores, onde as interações planta-solo são mais intensas. Para a análise com o aplicativo SLAKES, isso também indica que o monitoramento da camada de 0–5 cm é mais representativo para fins de diagnóstico rápido da saúde estrutural do solo.

3.4 Influência do manejo nas propriedades do solo

Os solos da Fazenda Yeguerizo, sob manejo conservacionista, apresentaram média significativamente superior de estabilidade de agregados ($I_{stab} = 0,72$) em comparação à Fazenda La Vacadilla ($I_{stab} = 0,65$; $p < 0,05$) (Figura 14). Essa diferença torna-se ainda mais evidente nas áreas abertas, onde a compactação do solo foi elevada pela presença contínua de animais (densidade = $1,59 \text{ g cm}^{-3}$), ao contrário da Yeguerizo, que apresentou

menor compactação ($1,39 \text{ g cm}^{-3}$).

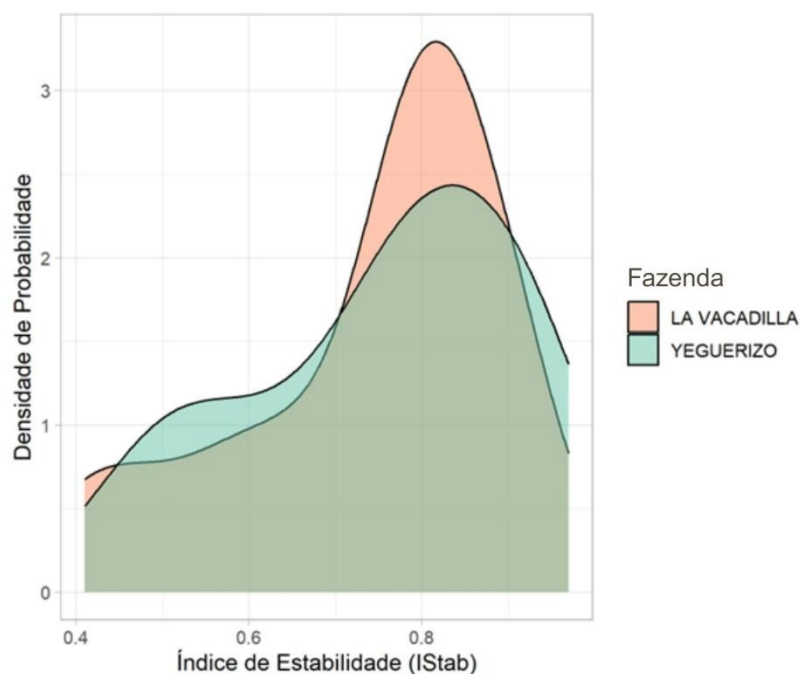


Figura 14. Efeito do tipo de manejo (conservacionista – Fazenda Yeguerizo vs. intensivo – Fazenda La Vacadilla) sobre a estabilidade de agregados (IStab) e a densidade do solo (g cm^{-3}) nas áreas abertas (FUERA) ($n = 20$). Diferenças testadas por ANOVA ($p < 0,05$).

Esses resultados refletem o impacto direto do tipo de manejo sobre a saúde física do solo. A compactação causada pelo pisoteio contínuo compromete a estrutura dos agregados e a atividade microbiana responsável por sua formação (Greenwood & McKenzie, 2001). Lal (2009) destaca que, em sistemas intensivos, a baixa ciclagem de carbono e a ruptura das interações bióticas dificultam a manutenção de agregados estáveis.

Ainda, segundo Reichert et al. (2009), densidades próximas a $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ já limitam o crescimento radicular e a infiltração de água, sugerindo que os solos da Vacadilla atingem um limiar crítico de degradação física. Em contrapartida, a estrutura mais estável observada em Yeguerizo contribui para serviços ecossistêmicos fundamentais, como a recarga hídrica, mitigação da erosão e sequestro de carbono (Palm et al., 2014; Lal, 2020).

Essas observações evidenciam a necessidade de incorporar práticas de manejo sustentável em sistemas pecuários, tais como pastejo rotacionado, manutenção da cobertura do solo e adoção de indicadores de saúde do solo como ferramentas de monitoramento.

3.5 Matriz de correlação entre atributos do solo

A análise da matriz de correlação revelou que o índice de estabilidade de agregados (IStab), determinado por meio do aplicativo SLAKES, apresentou correlação positiva significativa com o carbono orgânico ($r = 0,65$), confirmando o papel central da matéria orgânica na estruturação do solo (Figura 15). Por outro lado, a fração argila apresentou correlação negativa com IStab ($r = -0,55$), o que pode estar associado a processos de dispersão em solos argilosos mal manejados.

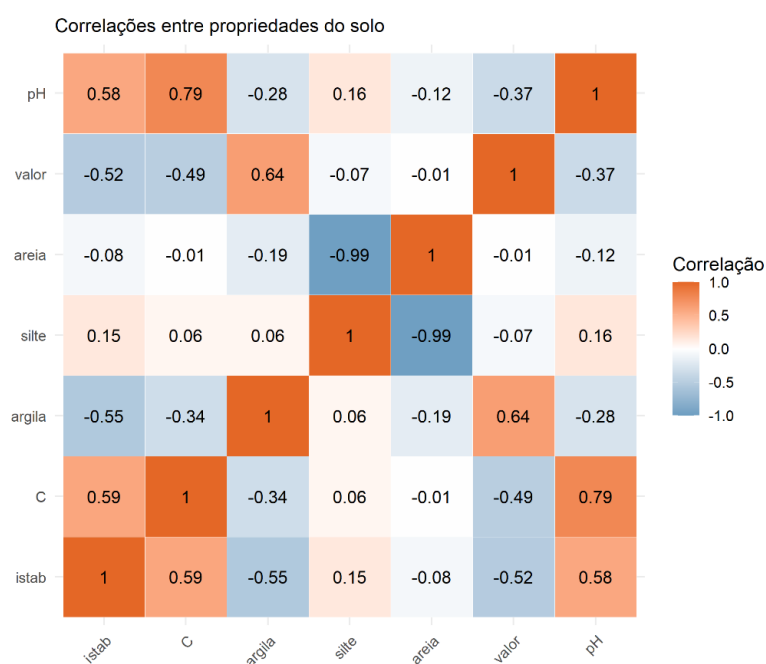


Figura 15. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas (carbono orgânico, atributos texturais, pH, cor do solo – *valor da escala de Munsell* - e IStab), indicando relações lineares significativas ($n = 40$). Cores mais intensas indicam maior magnitude da correlação.

O valor da cor do solo (escala de Munsell) correlacionou-se negativamente com o IStab ($r = -0,52$), reforçando que solos visualmente mais escuros – normalmente mais ricos em carbono – tendem a apresentar agregação superior. Isso está em conformidade com Viscarra Rossel et al. (2006), que identificaram a cor do solo como um bom preditor visual da matéria orgânica.

A fração argila, embora com correlação negativa, exerce influência indireta relevante ao proteger o carbono da decomposição, contribuindo para agregação estável (Six et al.,

2000). Tais resultados sugerem que a avaliação da saúde do solo deve considerar múltiplos indicadores. Nesse sentido, a aplicação de modelos multivariados, como as equações estruturais utilizadas neste estudo, torna-se uma estratégia eficaz para integrar os efeitos conjuntos de textura, cor e carbono sobre a estrutura do solo (Stewart et al., 2018).

Nesse sentido, a aplicação de modelos multivariados, como as equações estruturais utilizadas neste estudo, representa uma abordagem eficaz para integrar os efeitos conjuntos desses atributos e compreender melhor os fatores determinantes da estabilidade estrutural do solo (Stewart et al., 2018).

3.6 Relação entre a cor Munsell e a estabilidade

Os solos com menor valor na escala de Munsell (≤ 3), representando colorações mais escuras, apresentaram índice de estabilidade de agregados (IStab) 28% superior em comparação aos solos mais claros (valor ≥ 5), independentemente do matiz (10YR ou 2.5Y), conforme demonstrado na Figura 15. Esse padrão sugere que a luminosidade da cor do solo está diretamente associada à presença de matéria orgânica e, consequentemente, à estabilidade estrutural.

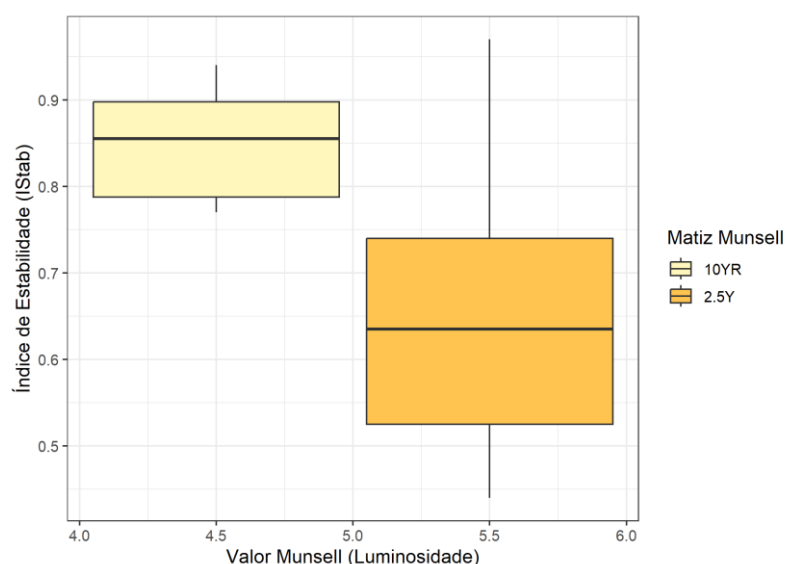


Figura 16. Boxplot comparando a estabilidade de agregados (IStab) entre diferentes categorias de valor da cor do solo, segundo a escala de Munsell (valor ≤ 3 = solo escuro; valor ≥ 5 = solo claro), independentemente do matiz (10YR ou 2.5Y) (n = 40). Diferenças testadas por ANOVA com pós-teste de Tukey ($p < 0,05$).

A matéria orgânica escurece o solo devido à presença de compostos húmicos, conferindo maior capacidade de agregação. Estudos como os de Viscarra Rossel et al. (2006) e Nduwamungu et al. (2009) reforçam essa associação, indicando que a cor pode ser usada como um indicador prático da qualidade do solo. Fernández et al. (2021) propuseram o uso de atributos visuais, como a cor, para otimizar a amostragem em campo, o que se alinha com os achados do presente estudo.

Adicionalmente, o uso de imagens de sensoriamento remoto para avaliação espectral da cor do solo representa uma oportunidade futura para ampliar a escala de aplicação desses indicadores (Hartemink et al., 2020), integrando tecnologias digitais ao monitoramento da saúde do solo.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo reforçam a importância de práticas conservacionistas, como a manutenção da cobertura vegetal e a redução do pisoteio animal, na preservação da estrutura física do solo. A adoção dessas práticas demonstrou impacto positivo direto na estabilidade dos agregados, especialmente em áreas com menor intensidade de manejo.

O aplicativo SLAKES mostrou-se uma ferramenta eficaz, de baixo custo e de fácil aplicação em campo, representando uma alternativa viável aos métodos laboratoriais convencionais. Sua utilização possibilita o monitoramento contínuo da saúde do solo, inclusive em regiões com infraestrutura técnica limitada.

Além disso, a estratificação das amostras com base em atributos visuais, como a cor do solo, e em sua profundidade, surge como uma estratégia promissora para otimizar os esquemas de amostragem e reduzir custos operacionais, sem comprometer a precisão das análises.

Recomenda-se a aplicação dessa abordagem em diferentes tipos de agroecossistemas, a

fim de validar sua eficácia em larga escala. Estudos futuros podem explorar a integração do SLAKES com tecnologias emergentes, como sensores remotos e sistemas de georreferenciamento, visando aprimorar os métodos de predição espacial da saúde do solo e ampliar seu uso em programas de manejo sustentável.

5 REFERÊNCIAS

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 131:28–35, 2013.

BARGUÉS-TOBELLA, A. et al. The functions of trees for enhancing ecosystem services and food security. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188:72–83, 2014.

BELSKY, A. J. et al. The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*, 26(3):1005–1024, 1989.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Conservation agriculture and soil physical environment. *Geoderma*, 167–168:1–10, 2011.

BORELLI, P. et al. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36):21994–22001, 2020.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124:3–22, 2005.

CHERUBIN, M. R.; CARVALHO, M. L.; RODRIGUES, M. Avaliação da saúde do solo: indicadores, metodologias e índices. *Informações Agronômicas NPCT*, 21:5–13, 2024.

DE ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Applied Research & Agrotechnology*, 5(1):187–206, 2012.

EMERSON, W. W. A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Soil Research*, 5(1):47–57, 1967.

FAJARDO, M. et al. Validation of SLAKES: A soil stability test. *Geoderma*, 271:41–49, 2016.

FERNÁNDEZ, D. et al. Visual evaluation of soil structure: performance and reproducibility of a standardised method. *Geoderma*, 402:115314, 2021.

GIACOMETTI, C. et al. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential use for monitoring impacts of organic management systems in vineyards. *Applied Soil Ecology*, 72:43–51, 2013.

GIANG, P. Q.; GIANG, L. T.; TOSHIKI, K. Spatial and temporal responses of soil erosion to climate change impacts in a transnational watershed in Southeast Asia. *Climate*, 5(1):22, 2017.

GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(8):1231–1250, 2001.

HAMILTON, N. E. ggtern: ternary diagrams using ggplot2. *Journal of Statistical Software*, 87(3):1–17, 2018.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Improving soil fertility and crop yield on a clay soil in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53:615–620, 2002.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54:273–282, 2003.

HARTEMINK, A. E. et al. Soil spectral inference with imaging spectroscopy. *Geoderma*, 366:114235, 2020.

HATFIELD, J. L. et al. Indicators of climate change in agricultural systems. *Climatic Change*, 163:1719–1732, 2020.

HERRICK, J. E. et al. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. *Catena*, 44(1):27–35, 2001.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, 50(3):346–363, 2008.

IPCC. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

JASTROW, J. D. et al. Contribution of interfibrillar exopolysaccharides to soil aggregate stabilization and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(5–6):665–676, 1996.

JIANG, C. et al. Model-based assessment soil loss by wind and water erosion in China's Loess Plateau. *Global and Planetary Change*, 172:396–413, 2019.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1*. Madison: ASA and SSSA, 1986. p. 425–440.

LAL, R. Soils and sustainable agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(1):15–29, 2009.

LAL, R. Managing soils for negative feedback to climate change and positive impact on food and nutritional security. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66:1–9, 2020.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47(4):425–437, 1996.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*, 2:133–171, 1985.

NDUWAMUNGU, J. et al. Assessment of soil properties using visible and near infrared reflectance spectroscopy in Burundi. *Geoderma*, 148:507–512, 2009.

NEWTON, P. et al. What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4:577723, 2020.

O'DONOGHUE, T.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. Regenerative agriculture and its potential to improve farmscape function. *Sustainability*, 14(10):5815, 2022.

PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187:87–105, 2014.

REICHERT, J. M. et al. Sistemas de manejo do solo e sua relação com a compactação do solo e a produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(4):837–848, 2009.

RILLIG, M. C. et al. Microbial contributions to soil aggregate stability: Effects of mycorrhizal hyphae and glomalin. *Applied Soil Ecology*, 19:261–268, 2002.

ROSSEEL, Y. lavaan: an R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2):1–36, 2012.

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. Washington, D.C.: USDA-Natural Resources Conservation Service, 2014.

STEWART, R. D. et al. What we talk about when we talk about soil health. *Agricultural & Environmental Letters*, 3(1):180033, 2018.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33:141–163, 1982.

VISCARRA ROSSEL, R. A. et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131:59–75, 2006.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. New York: *Springer-Verlag*, 2016.

NORMAS DA REVISTA “PESQUISA AGROPECUÁRIA TROPICAL”

Informação para Autores Pesquisa Agropecuária Tropical (PAT) é o periódico científico editado pela Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em versão eletrônica (e- ISSN 1983-4063). Destina-se à publicação de Artigos Científicos cuja temática tenha aplicação direta na agricultura tropical. A submissão de Notas Técnicas e Comunicações Científicas não é aceita e Artigos de Revisão somente são publicados a convite do Conselho Editorial. Também não é aceita a submissão de manuscritos já publicados em anais de congressos ou depositados em servidores preprint. A submissão de trabalhos é gratuita e deve ser feita exclusivamente via

sistema eletrônico, acessível por meio do endereço <https://www.revistas.ufg.br/pat>. Os autores devem cadastrar-se no sistema e manifestar, por meio de documento (ver sugestão de modelo) assinado por todos, escaneado e inserido no sistema como documento suplementar (mesmo local onde foi inserido o texto do artigo, cabeçalho “Outros”, sempre preservando o histórico), anuência acerca da submissão e do conhecimento da política editorial e diretrizes para publicação na revista PAT (caso os autores morem em cidades diferentes, mais de um documento suplementar pode ser inserido no sistema, pelo autor correspondente). Os dados de todos os autores devem ser inseridos no sistema (ao clicar na opção "Incluir coautor", no ato da submissão, novos campos se abrirão). A revista PAT recomenda a submissão de artigos com, no máximo, 5 (cinco) autores. A partir deste número, uma descrição detalhada da contribuição de cada autor deve ser encaminhada ao Conselho Editorial (nota: a mera participação na tomada de dados, ou apoio de natureza infraestrutural, não justifica autorias, embora possa merecer crédito na seção Agradecimentos). Após a submissão, não será permitida a inclusão de novos coautores. Durante a submissão on-line, o autor correspondente deve atestar, ainda, em nome de todos os autores, a originalidade do trabalho, a sua não submissão a outro periódico, a conformidade com as características de formatação requeridas para os arquivos de dados, bem como a concordância com os termos da Declaração de Direito Autoral, que se aplicará em caso de publicação do trabalho. Se o trabalho envolveu diretamente animais ou seres humanos como sujeitos da pesquisa, deve-se comprovar a sua aprovação prévia por um comitê de ética em pesquisa. Caso haja fontes potenciais de conflito de interesse (qualquer interesse ou relacionamento, financeiro ou não, que possa influenciar nos resultados de uma pesquisa; por exemplo, financiamento proveniente de uma entidade comercial, interesse comercial na publicação, participação em conselho de administração ou comitê consultivo de uma empresa ligada diretamente à

pesquisa, patentes concedidas ou pedidos pendentes), os autores devem reportá-las, sob pena de rejeição do manuscrito, ou outras sanções cabíveis. Por fim, deve-se incluir os chamados metadados (informações sobre os autores e sobre o trabalho, tais como título, resumo, palavras-chave - somente no idioma do manuscrito) e transferir os arquivos com o manuscrito e documento suplementar (anuência dos Autores). Os trabalhos podem ser escritos em Português ou Inglês, entretanto, serão publicados apenas em Inglês. Logo, em caso de submissão em Português e aprovação para publicação, a versão final do manuscrito deverá ser traduzida por especialista em Língua Inglesa (preferencialmente falante nativo), sendo que a tradução ficará a cargo dos autores, sem qualquer ônus para a revista. Os manuscritos devem ser apresentados em até 18 páginas. O texto deve ser editado em Word for Windows (tamanho máximo de 2MB, versão .doc) e digitado em página tamanho A-4 (210 mm x 297 mm), com

margens de 2,5 cm, em coluna única e espaçamento duplo entre linhas (inclusive para tabelas, cabeçalhos, rodapés e referências). A fonte tipográfica deve ser Times New Roman, corpo 12. O uso de destaques como negrito e sublinhado deve ser evitado. Todas as páginas e linhas devem ser numeradas. Os manuscritos submetidos à revista PAT devem, ainda, obedecer às seguintes especificações:

1. Os Artigos Científicos devem ser estruturados na ordem: Título (máximo de 20 palavras); Resumo (máximo de 250 palavras; um bom resumo primeiro apresenta o problema para, depois, apresentar os objetivos do trabalho); Palavras-chave (no mínimo, três palavras, e, no máximo, cinco, separadas por vírgula); Introdução; Material e Métodos; Resultados e Discussão; Conclusões; e Referências. Título, Resumo e Palavras-chave podem ser apresentados apenas no idioma do manuscrito, neste estágio. Chamadas relativas ao título do trabalho e os nomes dos Autores, com suas afiliações e endereços (incluindo e-mail) em notas de rodapé, bem como agradecimentos, somente devem ser inseridos na versão final corrigida do manuscrito, após sua aceitação definitiva para publicação.
2. As citações devem ser feitas no sistema "autor-data". Apenas a inicial do sobrenome do Autor deve ser maiúscula e a separação entre Autor e ano é feita somente com um espaço em branco. Ex.: (Gravena 1984, Zucchi 1985). O símbolo "&" deve ser usado no caso de dois autores e, em casos de três ou mais, "et al.". Ex.: (Gravena & Zucchi 1987, Zucchi et al. 1988). Caso o(s) autor(es) seja(m) mencionado(s) diretamente na frase do texto, utiliza-se somente o ano entre parênteses. Citações de citação (citações

secundárias) devem ser evitadas, assim como as seguintes fontes de informação: artigo em versão preliminar (no prelo ou preprint) ou de publicação seriada sem sistema de arbitragem; resumo de trabalho ou painel apresentado em evento científico; comunicação oral; informações pessoais; comunicação particular de documentos não publicados, de correios eletrônicos, ou de sites particulares na Internet.

3. As referências devem ser organizadas em ordem alfabética, pelos sobrenomes dos Autores, de acordo com a norma NBR 6023:2018, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a seguinte adequação: não é necessária a inclusão da cidade após os títulos de periódicos. Os destaques para títulos devem ser apresentados em *itálico* e os títulos de periódicos não devem ser abreviados.
4. As tabelas (também com corpo 12 e espaçamento duplo) e figuras, dispostas no decorrer do texto, devem ser identificadas numericamente, com algarismos arábicos, e receber chamadas no texto. As tabelas devem ser editadas em preto e branco, com traços simples e

de espessura 0,5 ponto (padrão Word for Windows), e suas notas de rodapé exigem chamadas numéricas. Expressões como "a tabela acima" ou "a figura abaixo" não devem ser utilizadas. As figuras devem ser apresentadas com resolução mínima de 300 dpi.

5. A consulta a trabalhos recentemente publicados na revista PAT (<https://www.revistas.ufg.br/pat>) é uma recomendação do corpo de editores, para dirimir dúvidas sobre estas instruções e, conseqüentemente, agilizar a publicação.
6. Os Autores não serão remunerados pela publicação de trabalhos na revista PAT, pois devem abrir mão de seus direitos autorais em favor deste periódico. Os conteúdos publicados, contudo, são de inteira e exclusiva responsabilidade de seus Autores, ainda que reservado aos Editores o direito de proceder a ajustes textuais e de adequação às normas da publicação. Por outro lado, os Autores ficam autorizados a publicar seus artigos, simultaneamente, em repositórios da instituição de sua origem, desde que citada a fonte da publicação original na revista PAT. Ainda, visando assegurar a preservação, permitir a reutilização e atestar a reprodutibilidade das conclusões de cada estudo publicado, o Comitê Editorial recomenda e estimula a publicação em repositórios públicos, pelos autores, dos dados de pesquisa e/ou códigos de programação utilizados na análise dos dados, explicitando sua vinculação à publicação na revista PAT.