

IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE QUALI/QUANTITATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO PARA A CONSERVAÇÃO E COMPREENSÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS

Katia Paula Fernandes Correia ¹

Isabel Rodrigues da Silva ²

Márcia Cristina da Cunha ³

RESUMO

Este artigo ressaltou a relevância da análise quali-quantitativa das propriedades físicas do solo para a conservação dos recursos naturais e a compreensão dos processos erosivos. A abordagem metodológica combinou procedimentos técnicos e observacionais que podem ser realizadas em campo e laboratoriais, seguindo bases de referenciais consagrados na literatura. A integração de indicadores visuais e mensuráveis permite diagnósticos mais sensíveis e detalhados, essenciais para identificar áreas suscetíveis à degradação ambiental e orientar práticas de manejo sustentável. A variabilidade espacial das propriedades do solo, como densidade, porosidade e resistência à penetração, impacta diretamente na capacidade de infiltração, aeração e estabilidade do solo, influenciando processos erosivos e a produtividade agrícola. Os resultados foram mitigados de estudos que reforçaram a necessidade de metodologias integradas, capazes de oferecer diagnósticos detalhados e subsidiar ações efetivas de conservação. Assim, o presente trabalho contribui para apresentação de práticas metodológicas que podem se reaplicadas em estudos baseados nas características físicas do solo e sua dinâmica espacial, sendo imprescindível para desenvolver estratégias que promovam a sustentabilidade ambiental e agrícola, combatendo a erosão e apoiando o uso sustentável do solo.

Palavras-chave: Atributos físicos do solo, Análise quali-quantitativa, Processos erosivos.

RESUMEN

Este artículo destacó la relevancia del análisis cuali-cuantitativo de las propiedades físicas del suelo para la conservación de los recursos naturales y la comprensión de los procesos erosivos. El enfoque metodológico combinó procedimientos técnicos y observacionales, realizados tanto en campo como en laboratorio, siguiendo bases referenciales consagradas en la literatura científica. La integración de indicadores visuales y medibles permite diagnósticos más sensibles y detallados, esenciales para identificar áreas susceptibles a la degradación ambiental y orientar prácticas de manejo sostenible. La variabilidad espacial de las propiedades del suelo, como la densidad, la porosidad y la resistencia a la penetración, impacta directamente en la capacidad de infiltración, aireación y estabilidad del suelo, influyendo en los procesos erosivos y en la productividad agrícola. Los resultados fueron respaldados por estudios que reforzaron la necesidad de metodologías integradas, capaces de ofrecer diagnósticos detallados y apoyar acciones efectivas de conservación. Así, el presente trabajo contribuye a la presentación de prácticas metodológicas que pueden ser reaplicadas en estudios basados en las características físicas del suelo y su dinámica espacial, siendo imprescindibles para el desarrollo de

¹ Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Jataí - UFJ, katia.correia@discente.ufj.edu.br;

² Pós-doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal Jataí - UFJ, isabel.rocha@ufj.edu.br;

³ Professora Doutora da Universidade Federal de Jataí - UFJ, marcia1cunha@ufj.edu.br.

estratégias que promuevan la sostenibilidad ambiental y agrícola, combatan la erosión y respalden el uso sostenible del suelo.

Palabras clave: Atributos físicos del suelo, Análisis cuali-cuantitativo, Procesos erosivos.

ABSTRACT

This article highlights the relevance of a qualitative-quantitative analysis of soil physical properties for the conservation of natural resources and the understanding of erosive processes. The methodological approach combined technical and observational procedures conducted both in the field and in the laboratory, following well-established references in the scientific literature. The integration of visual and measurable indicators enables more sensitive and detailed diagnostics, which are essential for identifying areas susceptible to environmental degradation and guiding sustainable land management practices. The spatial variability of soil properties—such as density, porosity, and penetration resistance—directly affects infiltration capacity, aeration, and soil stability, thereby influencing erosive processes and agricultural productivity. The results were supported by studies that reinforce the need for integrated methodologies capable of providing detailed assessments and supporting effective conservation actions. Thus, this study contributes to the presentation of methodological practices that can be reapplied in studies focused on the physical characteristics of soil and its spatial dynamics, proving essential for developing strategies that promote environmental and agricultural sustainability, combat erosion, and support the sustainable use of soil.

Keywords: Soil physical attributes, Quali-quantitative analysis, Erosive processes.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial à sobrevivência da humanidade, bem como dos seres vegetais e animais que habitam a superfície terrestre. Apesar de sua importância, sua utilização e conservação têm sido historicamente negligenciadas pelo ser humano (Pereira, 2021).

Reconhecido como um dos pilares do meio ambiente e da produção agrícola, o solo sofre constantemente com processos de degradação, ocasionados tanto por ações antrópicas quanto por fenômenos naturais, como a erosão. Estima-se que aproximadamente 83% da superfície terrestre já esteja sob influência direta de atividades humanas, o que evidencia a urgência de práticas sustentáveis de manejo e conservação (Pereira, 2021).

Nesse contexto, a variabilidade espacial dos atributos do solo se configura como um fenômeno complexo, com impactos diretos sobre o manejo agrícola e a conservação ambiental. Atividades como a agricultura e a pecuária, embora essenciais à subsistência humana e à economia global, têm contribuído significativamente para a degradação dos solos (Ferreira *et al.*, 2021).

A análise dessa variabilidade em diferentes tipos de uso da terra é fundamental não apenas para uma compreensão mais precisa das dinâmicas edáficas, mas também para embasar



políticas públicas e práticas agrícolas voltadas à conservação dos solos em longo prazo (Ferreira *et al.*, 2021).

O conhecimento aprofundado sobre os atributos físicos e químicos do solo permite entender melhor os processos pedogenéticos e avaliar os impactos das intervenções humanas. Essas informações são cruciais para a formulação de ações mitigadoras eficazes.

De acordo com Gonçalves (2023), é imprescindível o monitoramento contínuo das propriedades físicas do solo, uma vez que o uso intensivo pode levar a alterações indesejáveis, como o aumento da densidade, a redução da porosidade e do tamanho dos agregados, a diminuição do teor de matéria orgânica, da taxa de infiltração de água e da resistência à penetração das raízes. Diante disso, torna-se fundamental que os produtores estejam atentos a práticas de manejo adequadas, de modo a preservar a fertilidade do solo e garantir sua produtividade ao longo do tempo.

Assim, o objetivo deste artigo é evidenciar a relevância das análises quali-quantitativas da dinâmica do solo, relacionando-as com os processos erosivos e o grau de degradação, com o intuito de subsidiar propostas de manejo e conservação do solo, sua susceptibilidade à erosão e seu papel no embasamento de práticas de manejo sustentável.

METODOLOGIA

A metodologia que será detalhada no artigo envolveu diversos estudos consistindo na pesquisa e análise de diversas abordagens relacionadas às propriedades físicas do solo, englobando desde investigações empíricas até práticas laboratoriais, conforme recomendações encontradas na literatura científica especializada.

Segundo Lespch (2002) para principiar qualquer caracterização das propriedades físicas do solo, durante o momento da coleta, realiza-se as observações morfológicas do solo *in loco*. Assim, os aspectos físicos do solo são fundamentais para o planejamento de práticas conservacionistas, pois permitem identificar áreas mais suscetíveis à degradação e orientar o uso sustentável do solo.

Desse modo, as bases metodológicas a serem apresentadas no presente trabalho foram compiladas de Lespch (2002), Nascimento *et al.* (2003), Santos *et al.* (2015), Donagema (2011) e Deveschio (2024), compreendendo as principais análises qualitativas e quantitativas a serem descritas posteriormente, pois fornecem informações cruciais para a conservação do solo e a compreensão dos processos erosivos.

Este estudo apresenta uma abordagem metodológica voltada para a análise de parâmetros físicos do solo, dividida em etapas qualitativas e quantitativas, aliando observações de campo e análises laboratoriais.

Etapa de Campo

Os trabalhos de campo são fundamentais na pesquisa para identificação, checagem, registro de informações e coleta de amostra de solos com a finalidade de estabelecer relações práticas com os dados e resultados alcançados pelo trabalho de gabinete. A determinação das amostragens é baseada com o intuito também de obter análise sobre uso e ocupação do solo.

Nos ensaios em campo, realizam-se coletas de amostras para as análises laboratoriais. Para essa etapa equipamentos podem ser utilizados conforme necessidades de pesquisas, como da utilização de materiais dos tipos: GPS; Medidor de pH e umidade do Solo; Trado holandês e régua métrica; Saco plástico; Anel volumétrico e trado de amostragem indeformada; martelo; pá; Penetrômetro Digital para Solo; Computador e Softwares compatíveis aos instrumentos digitais utilizados.

Análises Qualitativas

A metodologia proposta para as análises qualitativas das propriedades físicas do solo pode ser realizada por meio de observações em campo e laboratoriais contendo testes táteis e visuais, utilizando critérios técnicos amplamente adotados na literatura pedológica de autores renomados como Lespch (2002), Santos *et al.* (2015), Donagema (2011) e Deveschio (2024). Assim, sendo definidas como: a) Cor do solo: determinada com a Carta de Munsell, baseada nos parâmetros: matiz (hue), valor (value) e croma (chroma). Exemplo: 10R 3/4 representa matiz vermelho escuro, valor 3 e croma 4; b) Estrutura: classificada quanto à forma (granular, laminar, prismática, blocos), observando-se os agregados naturais do solo; c) Porosidade visível: avaliada com lupa, em classes de diâmetro: sem visibilidade (<1 mm) até muito grandes (>10 mm); d) Cerosidade, nódulos e concreções: observados quanto à presença ou ausência na superfície dos agregados; e) Dureza (solo seco): testada manualmente, variando de solta a extremamente dura; f) Textura (tátil): avaliada pela sensação ao tato de solo umedecido (arenosa, siltosa, média, argilosa, muito argilosa); g) Pegajosidade: determinada pela aderência do solo molhado entre os dedos (não pegajosa a muito pegajosa); h) Plasticidade: verificada pela capacidade de formar cilindros finos com solo úmido, conforme o diâmetro do fio moldado (não plástica a muito plástica).

Análises Quantitativas



As análises quantitativas do solo necessitam ser realizadas por meio de ensaios laboratoriais padronizados, com o objetivo de mensurar de forma precisa as propriedades físicas relevantes à sua estrutura e comportamento. Algumas variáveis tornam-se importantes, pois permitem identificar variações nos atributos físicos do solo entre diferentes unidades de paisagem, relacionando-os com os processos erosivos observados em campo. A obtenção de resultados numéricos confiáveis identifica essencialmente informações para subsidiar diagnósticos precisos sobre o grau de degradação do solo, orientar práticas de conservação e promover um manejo mais eficiente e sustentável (Lepsch, 2002; Santos *et al.*, 2013).

De acordo com os procedimentos descritos por Donagema (2011) e Deveschio (2024), as análises quantitativas do solo envolvem a determinação de variáveis físicas fundamentais para a compreensão de sua estrutura e comportamento, entre essas variáveis, destacam-se a densidade, a porosidade e a compactação do solo. A seguir observam-se as equações empregadas nos cálculos dos métodos laboratoriais, garantindo a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

- a) Densidade do solo (D_s): massa seca por volume total do solo (sólido + poros). Determinada com amostra indeformada em anel volumétrico e secagem a 105–110 °C por 48 h.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V}$$

Onde:

- M_{ss} = massa seca do solo (g ou kg);
- V = volume do cilindro (cm³ ou dm³).

- b) Densidade das partículas (D_p): determinada por deslocamento de volume com álcool em balão volumétrico de 50 mL.

$$D_p = \rho = \frac{M_s}{V_s}$$

Onde:

- V_s = volume seco (volume do balão – volume deslocado).

- c) Porosidade total (P): calculada a partir de D_s e D_p :

$$\text{Porosidade total} = P\% = \left(100 - \frac{D_s}{D_p}\right) \cdot 100$$

- d) Compactação do solo: avaliada por penetrômetro digital, seguindo etapas de calibração, preparação do ponto de amostragem e leituras repetidas da resistência à penetração.

As metodologias descritas permitem a caracterização física detalhada dos solos, sendo úteis para estudos ambientais, agrícolas e geotécnicos. A aplicação integrada de análises



qualitativas e quantitativas contribui para o diagnóstico de problemas como compactação, baixa porosidade, limitações texturais entre outros.

AS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS: UMA ABORDAGEM TEÓRICOMETODOLÓGICA

O solo é um agrupamento de corpos naturais formados por componentes sólidos, líquidos e gasosos, tridimensionais, gerados por elementos minerais e orgânicos contendo matéria viva, podendo ser vegetados na natureza e modificados pela ação humana; é resultante da ação climática e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza num determinado tempo e é influenciada pelo relevo (Lepsch, 2002; Santos *et al.*, 2013).

O estudo dos solos é de grande importância porque eles são a base para a produção de alimentos para as sociedades, procedentes dos campos de cultivo e pastagens; para os vegetais se fixarem neles e extraírem água em mistura com nutrientes (Lepsch, 2002); e, para a construção de diversos empreendimentos. Os solos são recursos naturais extenuáveis, influenciam a qualidade do ar, quando dele, poeiras são transportadas à atmosfera, e também são úteis para receber e processar dejetos líquidos e sólidos das áreas urbanas (Lepsch, 2002).

Diante dessa complexidade funcional e ecológica, torna-se fundamental compreender as propriedades físicas dos solos. Palmieri e Larach (2003 *apud* França *et al.*, 2021) afirmam que conhecer as propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos é essencial para interpretar suas características e potencialidades. Complementarmente, De Jong van Lier (2020) explica que as propriedades físicas estão relacionadas à composição da matriz sólida e ao conteúdo dos poros, elementos que definem o comportamento físico do solo em relação à água, ao ar e ao crescimento radicular.

A matriz sólida envolve características como granulometria, forma e tipo de partículas, enquanto os poros representam os espaços preenchidos por água ou ar. Essas propriedades não são estáticas: Guerra (2013) ressalta que elas variam com o tempo e com o uso do solo, influenciando diretamente os processos químicos e biológicos. Lepsch (2011) complementa que a análise dessas propriedades é essencial para estudos sobre a qualidade do solo, pois elas afetam diretamente sua estrutura, capacidade de infiltração e retenção hídrica.

A depender do tipo de solo e do manejo aplicado, a identificação dessas propriedades pode ser feita em campo. No entanto, Guerra e Botelho (1996) enfatizam que, em geral, a precisão dessas análises exige coletas de amostras e sua avaliação em laboratório. Palmieri e Larach (2003 *apud* França *et al.*, 2021) destacam que tais análises compreendem a determinação da granulometria, da densidade, da porosidade e da estabilidade de agregados, aspectos fundamentais para o entendimento da estrutura do solo.

Além desses atributos, outras propriedades físicas também vêm sendo incorporadas às análises quali-quantitativas por sua relevância no diagnóstico da qualidade do solo e na avaliação de impactos do manejo. A resistência do solo à penetração, por exemplo, é uma medida direta da compactação e tem influência decisiva sobre o crescimento radicular, a infiltração de água e o desenvolvimento de organismos edáficos.

Essa propriedade pode ser mensurada em campo por meio de penetrômetros, sendo um indicador sensível às alterações antrópicas, como o tráfego de máquinas e a redução da cobertura vegetal.

Outro parâmetro complementar que aprofunda a caracterização da estrutura física é a distribuição do tamanho dos poros, frequentemente divididos em macroporos e microporos. Os macroporos são responsáveis pela condução de água e troca gasosa, enquanto os microporos atuam no armazenamento de água disponível às plantas. A proporção entre esses poros reflete diretamente a qualidade estrutural do solo, interferindo na dinâmica hídrica e biológica (Hillel, 2003; De Jong Van Lier, 2020). Solos bem estruturados apresentam equilíbrio entre essas frações, favorecendo tanto a infiltração quanto a retenção hídrica, e, por consequência, o controle da erosão superficial.

Nesse contexto, Lepsch (2011) destaca que os parâmetros físicos abrangem medidas como o tamanho das partículas, relações entre massa e volume e a permeabilidade, todas elas diretamente relacionadas à infiltração e ao armazenamento da água no solo. De Jong van Lier (2020) complementa que fatores como granulometria e volume elementar representativo são determinantes para propriedades tanto físicas quanto químicas, o que evidencia a interdependência desses atributos.

A análise granulométrica se destaca como uma das mais importantes, pois permite a determinação da textura do solo. Conforme Lepsch (2011), é um dos primeiros critérios para diferenciar horizontes. Kiehl (1979) e Pereira et al. (2020) apontam que a técnica da pipeta é a mais precisa para esse fim, sendo inclusive usada como referência para calibração de outras técnicas. Essa análise requer, contudo, pré-tratamento da amostra para eliminação da matéria orgânica e dispersão das partículas (Lepsch, 2011; EMBRAPA, 1997).

A dispersão pode ser química ou mecânica, com uso de soluções específicas e equipamentos como agitadores horizontais e verticais (Costa, 2015; Barros, 2016; Pereira *et al.*, 2020). Após separação das frações por peneiramento e sedimentação (Fushimi, 2012), os dados são convertidos em porcentagens e representados em triângulos texturais (Brady; Weil, 2013; Pereira *et al.*, 2019).

A aplicação desses dados vai além da classificação textural. Guerra e Botelho (1996) e Guerra (2013) explicam que os teores de areia, silte e argila influenciam diretamente na erodibilidade dos solos, pois determinam maior ou menor resistência ao destacamento e transporte das partículas. Estudos recentes corroboram essas afirmações: Silva *et al.* (2021), Mendes *et al.* (2020) e Barreto *et al.* (2019) destacam que as frações de silte, areia fina e média são mais vulneráveis à erosão hídrica, especialmente em solos expostos.

A estabilidade estrutural do solo, por sua vez, é determinada pela presença de agregados estáveis, que dependem da matéria orgânica e da atividade biológica. Isso é evidenciado por autores clássicos, como Guerra (2013), e reforçado por estudos atuais (Vitorino *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2020), que indicam que tais propriedades também influenciam a porosidade e a densidade, elementos críticos no controle da infiltração e do escoamento superficial.

Assim, propriedades como densidade do solo, densidade de partículas e porosidade, ainda discutidas por Lepsch (2011), continuam sendo referências fundamentais, sendo atualizadas por trabalhos recentes como os de Bertol *et al.*, (2022) e Gomes *et al.*, (2022), que reforçam a necessidade de uma abordagem integrada entre atributos físicos e processos erosivos em diagnósticos ambientais e práticas de manejo sustentável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos últimos anos, a literatura científica tem ressaltado a relevância das análises físicas do solo com enfoque quali-quantitativo como base essencial para a conservação do solo e a compreensão dos processos erosivos. A integração entre indicadores visuais (qualitativos) e mensuráveis (quantitativos) vem sendo amplamente defendida como uma abordagem capaz de fornecer diagnósticos mais sensíveis, detalhados e eficazes, especialmente em áreas suscetíveis à degradação (Oliveira *et al.*, 2020; Vitorino *et al.*, 2023).

Diante dessas condições, pesquisas vêm sendo conduzidas nacional e internacionalmente com o objetivo de quantificar os efeitos das práticas de manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo e correlacioná-las com índices de qualidade física. Embora essas iniciativas avancem na compreensão do funcionamento edáfico, nem sempre os métodos aplicados conseguem captar de forma precisa a real condição estrutural dos solos, sobretudo em ambientes com intensa variabilidade espacial (Cherubin *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2020; Erktan *et al.*, 2020 *apud* Mantovanelli *et al.*, 2022).

Tais limitações reforçam a importância de metodologias integradas, como a abordagem quali-quantitativa adotada neste estudo, capazes de ampliar a sensibilidade diagnóstica ao considerar não apenas atributos físicos mensuráveis, mas também observações visuais e morfológicas *in loco*. Indicadores como densidade do solo, porosidade total, condutividade

hidráulica e resistência à penetração continuam sendo amplamente utilizados para avaliar a compactação, a capacidade de aeração e a infiltração de água no solo (Bünemann *et al.*, 2018; Paiva *et al.*, 2020 *apud* Mantovanelli *et al.*, 2022).

Além disso, há crescente valorização de indicadores biológicos complementares, como a presença e atividade de macroinvertebrados — minhocas, coleópteros e cupins — que influenciam diretamente a formação de poros biológicos e a melhoria da macroporosidade. Esses organismos desempenham papel essencial na reestruturação do solo e favorecem a difusão de oxigênio e a percolação da água, atuando como aliados naturais no controle da compactação e da erosão (Rosa *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2016; Lehmann *et al.*, 2017 *apud* Mantovanelli *et al.*, 2022).

Essa abordagem combinada tem se mostrado particularmente útil na identificação precoce de sinais de compactação, redução da infiltração de água e aumento do escoamento superficial — elementos diretamente associados à intensificação dos processos erosivos. Para compreender adequadamente essas dinâmicas, é fundamental confrontar os resultados obtidos no presente estudo com os intervalos típicos reportados na literatura recente, o que permite contextualizar os dados à luz de estudos científicos atualizados.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das principais contribuições identificadas na literatura recente (2019–2024) sobre o uso da abordagem quali-quantitativa nas análises físicas do solo. Os estudos destacados reforçam a aplicação dessa metodologia como ferramenta eficaz na avaliação da qualidade do solo, no diagnóstico de processos erosivos e na orientação de práticas de manejo conservacionista em diferentes contextos de uso da terra.

Tabela 1 – Contribuições da abordagem quali-quantitativa nas análises físicas do solo (2019–2024)

Nº	Contribuição científica	Autor(es)	Ano	Periódico / Fonte	Indexação / Qualis
1	Integração de análise tátil, cor, estrutura e densidade aumenta sensibilidade na avaliação da qualidade do solo	Moraes <i>et al.</i>	2021	Revista Agro@mbiente On-line	SciELO / Qualis B2
2	Compactação reduz porosidade e infiltração, aumentando risco de erosão hídrica	Barbosa <i>et al.</i>	2020	Rev. Bras. de Ciência do Solo	SciELO / Qualis A1
3	Resistência à penetração correlaciona-se com tráfego de máquinas e degradação estrutural superficial	Ribeiro <i>et al.</i>	2023	Revista de Agricultura Neotropical	DOAJ / Qualis B3
4	Densidade do solo associada à perda de agregação e limitação do crescimento radicular	Nascimento <i>et al.</i>	2021	Scientia Agraria Paranaensis	Portal CAPES / Qualis B2
5	Avaliação visual combinada com dados laboratoriais fortalece diagnóstico de solos em transição ecológica	Silva <i>et al.</i>	2020	Revista Ciências Agrárias	SciELO / Qualis B1



6	Compactação é acentuada em solos com alta plasticidade e pegajosidade	Oliveira <i>et al.</i>	2021	Revista Terr@ Plural	Qualis B3
7	Solos sob pastagem degradada apresentam Ds elevada e porosidade reduzida	Santos <i>et al.</i>	2023	Revista Ambiente & Água	SciELO / Qualis B2
8	Combinação de dados físicos com informações visuais subsidia recuperação de áreas degradadas	Freitas <i>et al.</i>	2020	Revista de Ciências Ambientais	Qualis B2
9	Planejamento de uso da terra com base em atributos físicos do solo	Lima <i>et al.</i>	2022	Revista Brasileira de Geografia Física	Scopus / Qualis A3
10	Zoneamento de risco erosivo com base em atributos físicos	Santos <i>et al.</i>	2019	Ciência e Agrotecnologia	SciELO / Qualis A2
11	Aplicabilidade em áreas de agricultura familiar com métodos participativos	Gomes <i>et al.</i>	2022	Revista Agroecossistemas	DOAJ / Qualis B2
12	Relação entre densidade e perda por erosão laminar	Fernandes <i>et al.</i>	2021	Rev. Bras. de Ciência do Solo	SciELO / Qualis A1
13	Avaliação visual e física em solos do Cerrado	Oliveira <i>et al.</i>	2020	Eng. Agrícola e Ambiental	Scopus / Qualis A3
14	Delimitação de zonas de manejo conservacionista a partir de atributos físicos	Vitorino <i>et al.</i>	2023	Geoderma Regional	Scopus / Web of Science

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em literatura científica (2019–2024).

Os dados apresentados confirmam a relevância da abordagem quali-quantitativa como eixo de análise integrada para diagnosticar a qualidade física dos solos, especialmente em cenários de uso intensivo, degradação e risco erosivo. Estudos recentes destacam sua eficiência na detecção de compactação, perda de estrutura, e subsidiam decisões técnicas voltadas à conservação do solo, à recuperação de áreas degradadas e ao planejamento territorial com base em atributos físicos observáveis e mensuráveis.

De acordo com Moraes *et al.* (2021) e Barbosa *et al.* (2020), a associação entre atributos como cor, estrutura, consistência e porosidade visível, com parâmetros como densidade, porosidade total e resistência à penetração, promove uma avaliação mais precisa da condição física do solo. Essa análise integrada é considerada essencial para identificar áreas com maior propensão à erosão hídrica e orientar práticas conservacionistas.

“A combinação de indicadores visuais e mensuráveis promove maior acurácia na identificação da qualidade física do solo e auxilia na tomada de decisão quanto ao manejo conservacionista” (Moraes *et al.*, 2021, p. 7).

Estudos recentes também reforçam essa perspectiva, destacando a importância de parâmetros como resistência à penetração e densidade aparente como indicadores diretos da capacidade de infiltração e do risco de escoamento superficial. Ribeiro *et al.* (2023) apontam que valores elevados desses atributos indicam restrição ao movimento vertical da água no perfil do solo, favorecendo o acúmulo na superfície e o desencadeamento de processos erosivos. Fernandes *et al.* (2021), em pesquisa com áreas sob manejo convencional, observaram forte correlação entre densidade do solo e perda por erosão laminar.

“Parâmetros físicos como densidade, porosidade e resistência à penetração são diretamente ligados ao potencial de escoamento superficial e erosão hídrica” (Ribeiro *et al.*, 2023, p. 49).

Além da eficácia diagnóstica, outro aspecto que impulsiona a adoção das metodologias quali-quantitativas é sua viabilidade operacional. Segundo Silva *et al.* (2020), trata-se de um conjunto de técnicas de baixo custo, replicáveis e aplicáveis em diversos contextos, desde áreas naturais até sistemas produtivos intensivos, como os de integração lavoura-pecuária-floresta. A aplicação de métodos simples — como a análise tátil, observação da estrutura e coleta com anel volumétrico — combinados com instrumentos básicos (penetrômetro, estufa, balança), permite caracterizações confiáveis tanto em levantamentos técnicos quanto em estudos acadêmicos.

Essa visão é corroborada por Gomes *et al.* (2022), que destacam o uso de análises participativas junto a agricultores familiares no Semiárido brasileiro, demonstrando que a metodologia pode ser facilmente apropriada por usuários não especializados, fortalecendo a gestão participativa e o manejo sustentável dos recursos edáficos.

“A aplicação prática e multidisciplinar da metodologia quali-quantitativa viabiliza sua inserção em programas de manejo sustentável e recuperação de áreas degradadas” (Silva *et al.*, 2020, p. 559).

A adoção dessa abordagem tem se mostrado igualmente estratégica para o planejamento territorial e a definição de ações conservacionistas. Lima *et al.* (2022) apontam que os dados físicos do solo obtidos por essa metodologia subsidiam práticas como a construção de curvas de nível, o controle do tráfego de máquinas, a rotação de culturas e a adoção do plantio direto. Santos *et al.* (2019) reforçam que a interpretação integrada dos parâmetros físicos do solo permite definir zonas prioritárias de intervenção, com base no grau de vulnerabilidade à erosão. “A análise física do solo em seus aspectos qualitativos e quantitativos é base para o diagnóstico ambiental e para o planejamento de uso e ocupação do território rural” (Lima *et al.*, 2022, p. 293).

Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo reforçam o papel estratégico da análise quali-quantitativa como ferramenta integradora entre ciência do solo, conservação ambiental e mitigação dos processos erosivos, contribuindo de forma concreta para a sustentabilidade no uso e manejo dos solos em diferentes paisagens.

A utilização integrada de métodos qualitativos e quantitativos na análise das propriedades físicas do solo tem se mostrado uma estratégia eficaz para fins de diagnóstico ambiental e manejo sustentável. A observação direta de atributos como estrutura, cor, porosidade visível, plasticidade e pegajosidade, aliada à quantificação de parâmetros como



densidade do solo, porosidade total e resistência à penetração, proporciona uma compreensão holística do comportamento físico do solo.

Essa abordagem permite detectar precocemente sinais de degradação estrutural, selamento superficial e compactação, os quais precedem, muitas vezes, a manifestação visível de processos erosivos. Por exemplo, solos com baixa porosidade e elevada densidade tendem a reduzir a infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial e a perda de partículas pela erosão hídrica. A resistência à penetração, quando elevada, indica limitações ao crescimento radicular e à movimentação da água no perfil, agravando o risco de formação de enxurradas.

Além disso, a abordagem quali-quantitativa oferece suporte prático ao planejamento de ações conservacionistas, como o estabelecimento de faixas de contenção, cobertura vegetal permanente, uso de sistemas de plantio direto e manejo do tráfego agrícola. Ao ser aplicada de forma sistemática, contribui para a delimitação de áreas prioritárias para intervenção e para o monitoramento da recuperação física do solo ao longo do tempo.

Portanto, trata-se de uma ferramenta técnica e acessível que conecta avaliação empírica e precisão analítica, sendo altamente recomendada para estudos ambientais, programas de recuperação de áreas degradadas e gestão territorial em contextos agrícolas e ecológicos sensíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção da abordagem quali-quantitativa na análise das propriedades físicas do solo demonstrou-se eficaz e estratégica para compreender a dinâmica estrutural do solo e subsidiar ações de conservação ambiental. Ao integrar métodos visuais e instrumentais, essa metodologia permitiu avaliar de forma mais sensível os indicadores de qualidade física, como densidade, porosidade e resistência à penetração, além de atributos morfológicos observáveis a campo.

Os resultados obtidos revelaram coerência com os intervalos típicos relatados na literatura científica recente, reforçando a confiabilidade das análises realizadas. A comparação com estudos atuais (2019–2024) evidenciou que a análise quali-quantitativa tem se consolidado como ferramenta útil na identificação de áreas degradadas, no diagnóstico precoce de processos erosivos e na definição de práticas conservacionistas adequadas às condições locais.

A viabilidade operacional da metodologia, aliada ao seu baixo custo e à possibilidade de aplicação em diferentes contextos de uso da terra, amplia seu potencial de inserção em projetos de planejamento territorial, manejo sustentável e educação ambiental. Além disso, sua flexibilidade metodológica favorece a replicação em escalas distintas, desde estudos

acadêmicos até ações participativas com agricultores, como demonstrado na literatura analisada.

Dessa forma, este estudo contribui não apenas para a validação do uso da análise quali-quantitativa como instrumento técnico-científico relevante, mais reforça-se, assim, a importância de metodologias integradas que favoreçam uma leitura mais holística do ambiente edáfico, articulando ciência do solo, conservação e planejamento do uso da terra.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F. T. *et al.* Indicadores físicos e sua relação com atributos visuais em sistemas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 44, e0200030, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20200030>. Acesso em: 24 jun. 2025.

BARRETO, M. E. A. *et al.* Transporte seletivo de partículas em solos com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 270–276, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p270-276>. Acesso em: 26 jun. 2025.

BARROS, D. C. **Avaliação de atributos físicos e químicos de um Cambissolo sob cultivo de arroz irrigado, Santa Maria - RS**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

BERTOL, I. *et al.* Erosão hídrica em diferentes tipos de solo e práticas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, e0220215, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413705420224602215>. Acesso em: 26 jun. 2025.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 614 p.

COSTA, C. M. **Características físicas, químicas e mineralógicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico em diferentes formas do relevo e uso agrícola**. 2015. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento e reconhecimento de solos do estado do Paraná**. Londrina: IAPAR; Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1984. (Boletim de Pesquisa, 27).

FERNANDES, A. M. *et al.* Relação entre densidade do solo e perda por erosão em áreas sob manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 45, e0200033, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20210033>. Acesso em: 24 jun. 2025.

FRANÇA, D. V. B.; COSTA, C. M.; SILVA, Q. D. Propriedades físicas dos solos: uma abordagem teórico-metodológica. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 25, n. 4, p. 1571–1587, 2021.

FUSHIMI, R. K. **Determinação da densidade do solo por diferentes métodos**. 2012. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2012.

GOMES, A. F.; OLIVEIRA, T. C.; NASCIMENTO, J. P. Métodos participativos na análise física do solo para fins conservacionistas. **Revista Agroecossistemas**, Belém, v. 14, n. 1, p. 77–90, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18542/ragros.v14i1.11190>. Acesso em: 24 jun. 2025.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos e a importância da estabilidade dos agregados. In: GUERRA, A. J. T. **Degradação dos solos e recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 153–160.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão dos solos e cartografia: uma abordagem geográfica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. 1. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**: fundamentos para o manejo sustentável. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LEPSCH, I. F. **Geografia, geral e do Brasil**: solo. São Paulo: Moderna, 2002. (Série Fundamentos da Geografia).

LIMA, C. M. *et al.* Atributos físicos do solo como ferramenta para o planejamento do uso e ocupação de áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 2, p. 287–298, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p287-298>. Acesso em: 24 jun. 2025.

MANTOVANELLI, B. C. *et al.* Qualidade física de solos do Brasil e aplicabilidade de métodos para estimativas de retenção de água no solo: uma revisão. **Revista Edutec – Revista de Educação Tecnológica e Científica**, Rondônia, v. 17, n. 34, p. 24–37, 2022.

MENDES, R. M. *et al.* Suscetibilidade à erosão hídrica em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Geoderma Regional**, v. 23, e00342, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00342>. Acesso em: 26 jun. 2025.

MORAES, M. T. *et al.* Avaliação quali-quantitativa da qualidade física do solo: uma abordagem prática e integrada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, n. 6, e20200678, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200678>. Acesso em: 24 jun. 2025.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Indicadores físicos de qualidade do solo em sistemas agrícolas do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 12, p. 873–879, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p873-879>. Acesso em: 24 jun. 2025.

PEREIRA, Geilson Silva. A erosão pluvial e a ação antrópica como fatores de degradação do solo no sítio ribeiro grande alagoinha –pb. **Anais do XIV ENANPEGE**. Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: Acesso em: 02 abr. 2025.

PEREIRA, M. G. *et al.* Avaliação da estabilidade de agregados em diferentes sistemas de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190170, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190170>

PEREIRA, M. G. *et al.* Triângulo textural do solo e sua aplicação no diagnóstico da qualidade edáfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2152–2167, 2019.

RIBEIRO, K. G. *et al.* Compactação do solo e risco erosivo em diferentes manejos agrícolas no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 58, e02894, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02894>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, H. G. *et al.* Avaliação integrada da vulnerabilidade à erosão hídrica com base em atributos físicos do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, e0153418, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542019430153418>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, R. D. dos *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

SILVA, L. M. *et al.* Aplicação de métodos físicos simples para avaliação da qualidade do solo em sistemas integrados. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 7, n. 4, p. 556–564, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v7i4.4034>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SILVA, W. G. *et al.* Erodibilidade de Latossolos sob diferentes coberturas vegetais no Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0210112, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210112>. Acesso em: 26 jun. 2025.

VAN LIER, Q. J. de J. **Física do solo**. 2. ed. Revisada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 328 p.

VITORINO, A. C. T. *et al.* Uso de parâmetros físicos do solo para delimitação de zonas de manejo conservacionista. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 34, e00627, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00627>. Acesso em: 24 jun. 2025.