

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

GABRIEL BRANDÃO FAUSTINO

**Análise crítica das metodologias tradicionais e digitais de mapeamento
pedológico: O papel do geógrafo.**

**Critical analysis of traditional and digital pedological mapping methodologies: The
Geographer's role.**

São Paulo

2024

GABRIEL BRANDÃO FAUSTINO

**Análise crítica das metodologias tradicionais e digitais de mapeamento
pedológico: O papel do geógrafo.**

Projeto de Trabalho de Graduação Individual (TGI)
apresentado ao Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas,
da Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Déborah de Oliveira

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

F268 Faustino, Gabriel Brandão
Análise crítica das metodologias tradicionais e digitais de mapeamento pedológico: O papel do geógrafo. / Gabriel Brandão Faustino; orientador Déborah de Oliveira - São Paulo, 2024.
49 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Mapeamento do solo. 2. Pedologia. 3. Agrimensura. I. de Oliveira, Déborah, orient. II. Título.

FAUSTINO, Gabriel Brandão. **Análise crítica das metodologias tradicionais e digitais de mapeamento pedológico: O papel do geógrafo.** Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho a pessoas que são fundamentais na minha vida e que, com seu amor e apoio, tornaram possível essa conquista.

Ao meu pai, um homem de caráter, cuja honestidade e dedicação sempre foram uma inspiração para mim. Ele, com seu trabalho árduo e sacrifícios, me proporcionou a oportunidade de estudar e alcançar meus sonhos. O exemplo de força e integridade dele sempre me guiou, e sou eternamente grato por tudo o que ele fez, e ainda faz, por mim.

À minha mãe, minha verdadeira fonte de amor e apoio. Não há palavras suficientes para expressar minha gratidão por tudo o que ela fez por mim ao longo da minha vida. Sua sabedoria e amor são as bases que sustentam minha jornada. Agradeço, de coração, por ser minha mãe, minha amiga e por sempre acreditar em mim.

À minha melhor amiga, Raquel, que foi uma luz constante no meu caminho. Desde o início, ela esteve lá, me apoiando, me ouvindo e, acima de tudo, me incentivando a nunca desistir. Sempre sabendo o momento certo de me dar o empurrão necessário, quando oferecer um ombro amigo. Nosso vínculo é algo único e imensurável, e sou grato por tê-la ao meu lado.

Ao meu namorado, Giovanni, que tem sido o meu porto seguro. Sua paciência, compreensão e amor incondicional me deram forças em todos os momentos. Ele é a pessoa com quem compartilho meus maiores sonhos e também minhas maiores inseguranças e seu amor me fortalece todos os dias. Obrigado por ser minha rocha, meu companheiro, e por me amar de tantas formas diferentes, sempre com tanto cuidado e atenção.

A todos vocês, eu devo minha gratidão eterna. Cada um de vocês tem sido essencial para que eu pudesse chegar até aqui, e este trabalho é, de certa forma, uma pequena forma de comemorar o fim de um ciclo tão importante na minha vida. O amor e o apoio que recebi de vocês foram os maiores presentes e motivaram-me a seguir em frente, mesmo quando as dificuldades pareciam insuperáveis. Eu sou, de verdade, profundamente grato.

AGRADECIMENTOS

À Profª Drª Deborah, pela oportunidade e orientação ao longo dessa pesquisa.

À Profª Drª Rita, pela amizade e apoio durante os anos de graduação.

À Profª Drª Glória, que me incentivou a buscar meus sonhos.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do curso.

EPÍGRAFE

"O espaço é um conjunto indissociável de sistemas de objetos e sistemas de ações."

– Milton Santos, A Natureza do Espaço (1996).

RESUMO

FAUSTINO, Gabriel Brandão. **Análise crítica das metodologias tradicionais e digitais de mapeamento pedológico: O papel do geógrafo.** 2024. 49 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O presente estudo analisou criticamente as metodologias de mapeamento de solos, com foco nos métodos tradicional e digital. O objetivo foi compreender como essas abordagens atendem às demandas contemporâneas e ao papel do geógrafo no planejamento territorial. A pesquisa utilizou revisão bibliográfica para explorar os fundamentos teóricos e uma análise comparativa para identificar as vantagens, limitações e implicações de cada metodologia. O mapeamento tradicional, baseado em observações de campo, oferece alto detalhamento e profundidade qualitativa, mas apresenta limitações quanto à escalabilidade e custos. Por outro lado, o Mapeamento Digital de Solos (MDS) é eficiente, escalável e capaz de lidar com grandes volumes de dados, mas tende a reduzir a complexidade espacial a modelos quantitativos, ignorando aspectos culturais, sociais e ecológicos. Os resultados indicam que a integração de ambas as metodologias pode ser uma abordagem mais eficaz, unindo a precisão e eficiência do MDS com a sensibilidade qualitativa do método tradicional. Concluiu-se que, para atender às demandas de planejamento sustentável, é necessário valorizar a interdisciplinaridade e a análise crítica no uso das tecnologias, reafirmando o papel do geógrafo como mediador entre sociedade e território.

Palavras-chave: Mapeamento de Solos. Geografia. Planejamento Territorial. Sustentabilidade. Interdisciplinaridade.

ABSTRACT

FAUSTINO, Gabriel Brandão. **Critical analysis of traditional and digital pedological mapping methodologies: The Geographer's role.** 2024. 49 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

This study critically analyzed soil mapping methodologies, focusing on traditional and digital approaches. The objective was to understand how these methods address contemporary demands and the geographer's role in territorial planning. The research employed a literature review to explore theoretical foundations and a comparative analysis to identify the advantages, limitations, and implications of each methodology. Traditional mapping, based on field observations, provides high detail and qualitative depth but faces scalability and cost challenges. On the other hand, Digital Soil Mapping (DSM) is efficient, scalable, and capable of handling large datasets but tends to simplify spatial complexity into quantitative models, overlooking cultural, social, and ecological aspects. The results indicate that integrating both methodologies may be a more effective approach, combining DSM's precision and efficiency with the traditional method's qualitative sensitivity. It was concluded that to meet sustainable planning demands, it is necessary to value interdisciplinarity and critical analysis in the use of technologies, reaffirming the geographer's role as a mediator between society and territory.

Keywords: Soil Mapping. Geography. Territorial Planning. Sustainability. Interdisciplinarity.

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Referencial teórico	16
2.1 Histórico e Principais Métodos do Mapeamento de Solos	16
2.1.1 Levantamento pedológico.....	17
2.1.2 Mapeamento tradicional de solos	17
2.1.3 Mapeamento digital de solos	18
2.1.4 Mapeamento de solos por determinação espectral	19
2.2 Mapeamento de Solos no Brasil - PronaSolos	20
2.3 O Papel do Geógrafo no Mapeamento de Solos	22
2.3.1 Conceito Tradicional do Geógrafo	23
2.3.2 Mudanças no Papel do Geógrafo com Novas Metodologias.....	24
3. Metodologias	26
3.1 Mapeamento tradicional de solos	26
3.1.1 Preparação pré campo.....	26
3.1.2 Trabalho de campo	27
3.1.3. Análises laboratoriais	27
3.1.4. Interpretação e classificação dos solos	27
3.1.5. Relatório final e aplicações.....	28
3.2 Mapeamento digital de solos	28
3.2.1. Definição dos objetivos e planejamento	29
3.2.2. Coleta de dados de campo	29
3.2.3. Coleta e preparação	29
3.2.4. Análise estatística e exploratória dos dados	30
3.2.5. Modelagem preditiva.....	30
3.2.6. Pós-processamento e representação cartográfica	32
4. Discussão e análise crítica	33
4.1 Comparação das metodologias	33
4.2 Comparação dos resultados obtidos com cada metodologia	35
4.3 Consequências para a ciência geográfica	40
5. Conclusão	46
REFERÊNCIAS	48

1. Introdução

O mapeamento pedológico, ao permitir uma compreensão detalhada das características do solo, tem se destacado principalmente como uma ferramenta necessária para a melhoria da produtividade agrícola sustentável. No entanto, o papel do geógrafo nesse processo muitas vezes é subestimado, apesar de sua importância em integrar análises técnicas e geográficas para um planejamento eficiente. Geógrafos trazem uma perspectiva interdisciplinar, utilizando ferramentas como o sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) para planejar e gerenciar o uso sustentável do solo, considerando tanto os aspectos físicos quanto sociais. Além de contribuir para a produtividade agrícola, o mapeamento de solos também é relevante para o planejamento ambiental, urbano e para a gestão de recursos naturais, áreas que requerem uma abordagem integrada que vá além da técnica agrônômica convencional (AQUINO e VALLADARES, 2014; EMBRAPA, 2014).

Esses estudos de planejamento territorial só se tornam efetivos quando consideram diversas escalas de análise da área de estudo e levam em consideração fatores como clima, solo, relevo, além de condições biológicas, sociais e econômicas do entorno. O mapeamento surgiu como uma ferramenta essencial para alcançar maior sucesso no planejamento territorial, pois fornece um maior conhecimento da região, o que é essencial para melhor tomada de decisões mais precisas. No Brasil, a aplicação de mapas mais detalhados mudou em resposta aos avanços tecnológicos e científicos, bem como às demandas sociais, oferecendo métodos de uso da terra mais eficazes e abrangentes (EMBRAPA, 2014).

A evolução dos mapeamentos vai desde métodos tradicionais, muitas vezes penosos, demorados e não tão precisos, até técnicas modernas, como o Mapeamento Digital de Solos (MDS). Essas técnicas digitais são mais ágeis e oferecem informações mais precisas a custos reduzidos (EMBRAPA, 2013). No entanto, diante do avanço das técnicas, torna-se essencial avaliar criticamente os modelos atuais e o papel do geógrafo como cientista, especialmente em um contexto cada vez mais corporativo e mecanizado. Essa reflexão é fundamental para compreender as maneiras que o mapeamento pode estar alterando a forma como o geógrafo atua e se práticas devem ser repensadas sob uma ótica geográfica mais crítica e integrada (LAGACHERIE e MCBRATNEY, 2006; EMBRAPA, 2014).

O mapeamento pedológico transformou-se em uma ferramenta quantitativa, baseada em modelos previsionais, utilizados principalmente para atender às demandas de engenheiros agrônomos, mas frequentemente deixa de atender plenamente às necessidades de geógrafos, pedólogos e geólogos. A especialização técnica e o foco na produtividade agrícola acabam limitando a abrangência das abordagens, marginalizando campos mais integrativos da geografia física, como a pedologia, que busca compreender não apenas aspectos físicos, mas também ecológicos e históricos dos solos. No Brasil, embora os estudos de solos ainda sejam relevantes dentro da geografia, eles enfrentam desafios para se articular com outros campos e para atender demandas mais amplas, como as do planejamento urbano e das mudanças climáticas.

A problemática central deste trabalho busca evidenciar que as necessidades da geografia, mesmo no mapeamento de solos, vão além de informações físicas do território. Como argumenta Cosgrove (1984), as representações de paisagens são profundamente influenciadas por contextos culturais e sociais, e reduzi-las a meras informações físicas resulta em um entendimento limitado e tecnocrático. Portanto, o atual modelo de mapeamento de solos, ao desconsiderar essas dimensões culturais, promove um distanciamento entre o geógrafo e as técnicas cartográficas, adotando uma abordagem imediatista que ignora fatores essenciais como os culturais, sociais, históricos e ecológicos. O mapeamento participativo tem se mostrado uma ferramenta eficaz para o estudo de comunidades, integrando saberes locais e destacando a importância da representação sociocultural e ecológica do território. Essa abordagem permite um planejamento territorial mais inclusivo, considerando não apenas os atributos físicos dos solos, mas também as interações ecológicas e sociais que os moldam (SILVA e VERBICARO, 2016).

Apesar de o Brasil possuir uma economia fortemente voltada para a produção e exportação de commodities, o mapeamento de solos no país ainda apresenta grandes deficiências, sendo escasso e, quando disponível, frequentemente inadequado em termos de escala ou resolução (SANCHEZ et al., 2009).

Diante desse contexto, o presente estudo visa realizar uma análise crítica das metodologias contemporâneas de mapeamento de solos e de sua evolução, com foco em como essas abordagens se distanciaram das práticas geográficas tradicionais. O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma visão abrangente dos principais modelos de mapeamento de

solos utilizados atualmente, destacando sua aplicação prática e o papel do geógrafo nesse novo cenário, questionando até que ponto essas práticas podem ainda ser consideradas parte integral da geografia.

Os objetivos específicos deste estudo são: i) Examinar os principais modelos de mapeamento de solos e sua evolução até o presente. ii) Analisar o papel do geógrafo no processo contemporâneo de mapeamento de solos. iii) Avaliar o impacto desse afastamento no papel do geógrafo

Com o avanço das técnicas de mapeamento e o desenvolvimento técnico-científico, torna-se cada vez mais necessário questionar o papel que o geógrafo assume frente à sociedade atualmente. É essencial avaliar se as metodologias aplicadas hoje contribuem para um estudo coerente e abrangente ou se acabam por atender prioritariamente aos interesses dos grandes produtores, deixando de lado as demandas sociais. A prática geográfica precisa, portanto, estar orientada por um compromisso com a justiça social e o bem comum (HAESBAERT, 2010; LACOSTE, 2008).

O Brasil, sendo um país de dimensões continentais, necessita de um mapeamento de solos bem executado, que atenda ao maior número possível de regiões e que não se restrinja ao uso exclusivo dos produtores rurais. Esse conhecimento deve ser acessível a toda a população, dado que é essencial para o desenvolvimento de diversas esferas do planejamento, como a construção civil, o planejamento urbano, o cultivo agrícola e o planejamento agropecuário (EMBRAPA, 2013).

Portanto, faz-se necessário um estudo que analise e critique as metodologias de cartografia de solos, compreendendo como o geógrafo se posiciona diante o processo cartográfico. Dessa forma, será possível identificar possíveis lacunas e carências no processo, bem como desenvolver novas metodologias que atendam aos direitos e às necessidades de todos os cidadãos, promovendo um conhecimento mais aprofundado e abrangente do território brasileiro. Isso permitirá um melhor aproveitamento de planos de manejo e de outros projetos que dependem de um conhecimento territorial e pedológico adequado.

Além disso, este trabalho permitirá repensar a prática geográfica em um mundo onde as teorias e métodos da geografia são cada vez mais descartados ou ignorados em favor de um

conhecimento pragmático que frequentemente desconsidera fatores essenciais, como aspectos culturais, sociais, históricos ou ecológicos. Classificações globais de uso da terra, ao priorizarem dados quantitativos e modelos previsionais, tendem a simplificar a complexidade das dinâmicas territoriais, negligenciando variáveis culturais e políticas para compreender o comportamento dos agentes que moldam as paisagens (VÁCLAVÍK et al., 2013). Esses aspectos são fundamentais para a sociedade e devem ser sempre considerados, pois a relação entre sociedade e território exige uma compreensão completa da dinâmica espacial, afinal de contas, espaço e sociedade são indissociáveis, uma vez que o espaço geográfico é construído e transformado continuamente pelas práticas sociais e pelas ações humanas que nele se realizam (SANTOS, 1996).

Para a realização deste estudo, será adotada uma abordagem metodológica que consiste em duas etapas. A primeira, consiste na realização de uma revisão de literatura, utilizando fontes e publicações científicas confiáveis, como artigos do SciELO, Google Scholar, dados do IBGE, estudos promovidos pela Embrapa Solos, entre outros. Essa revisão bibliográfica fornecerá um sólido embasamento teórico sobre as metodologias de mapeamento de solos e seu desenvolvimento ao longo do tempo, permitindo uma compreensão profunda das práticas atuais e dos seus fundamentos.

A partir da revisão bibliográfica, a segunda etapa envolverá uma análise crítica das práticas contemporâneas de mapeamento de solos. Esta análise incluirá a interpretação do autor sobre as metodologias, então, discutindo como o mapeamento de solos tem sido utilizado, permitindo investigar o papel do geógrafo no processo de mapeamento de solos, questionando se esse papel tem sido adequadamente cumprido no contexto atual. Essa análise permite questionar também quem esses mapeamentos estão efetivamente atendendo e se o pensamento geográfico não está sendo substituído por abordagens puramente técnicas, que desconsideram a responsabilidade social e a interdisciplinaridade com outras áreas do conhecimento.

É importante ressaltar que o objetivo não é defender ou criar um modelo de mapeamento complexo, custoso e demorado, mas sim promover uma discussão a respeito de metodologias bem executadas, baseadas em conhecimento geográfico que considere todas as variáveis necessárias para compreender a interação entre o solo, a natureza física e a sociedade. A universalização do acesso a esse conhecimento é fundamental, pois a exclusividade do

mapeamento pelos grandes produtores afeta negativamente diferentes grupos sociais. Um acesso mais democrático a essas informações beneficiaria toda a sociedade e melhoraria a prestação de serviços que dependem de um mapeamento de qualidade (EMBRAPA, 2013).

O trabalho é dividido em cinco seções principais. A primeira seção apresenta a introdução ao tema. Na segunda, são discutidas as metodologias de mapeamento de solos, as contribuições do Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos) e o papel do geógrafo, abordando tanto o mapeamento tradicional quanto as inovações trazidas pelas novas metodologias.

A terceira seção descreve detalhadamente as duas metodologias mais utilizadas no mapeamento pedológico: o Mapeamento Tradicional de Solos e o Mapeamento Digital de Solos, explicando os procedimentos de cada uma.

Na quarta seção, é feita uma comparação entre as metodologias, destacando como as ferramentas digitais e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) melhoraram a precisão e a eficiência, mas também podem simplificar a análise espacial. São apresentados estudos de caso para ilustrar as diferenças práticas entre as abordagens. Além disso, discute-se o impacto das novas metodologias na geografia, considerando os riscos de reduzir os fenômenos geográficos a dados e modelos.

Por fim, a conclusão resume os principais pontos abordados e propõe a integração das metodologias tradicional e digital em uma abordagem híbrida, combinando a precisão do Mapeamento Digital de Solos com a riqueza qualitativa do mapeamento tradicional.

2. Referencial teórico

2.1 Histórico e Principais Métodos do Mapeamento de Solos

Embora o mapeamento de solos tenha uma longa história, ele se tornou mais sistemático no século XIX, quando Vasily Dokuchaev lançou as bases da pedologia contemporânea ao conectar os solos às condições ambientais e climáticas. (FAO, 2006). Suas técnicas ainda estão sendo pesquisadas e são extremamente importantes para o planejamento urbano, agrícola e ambiental. A aplicação precisa desses dados em outros campos é limitada pela substancial escassez de informações em escalas mais específicas, mesmo com o enorme número de pesquisas que já foram realizadas e publicadas.

No Brasil, há uma escassez de produtos cartográficos que abrangem o território nacional em diferentes escalas, o que representa um obstáculo significativo para o planejamento e a gestão territorial. O mapeamento tradicional de solos é oneroso e demorado e muitas vezes, pouco quantitativo (EMBRAPA, 2013). A crescente demanda por técnicas mais eficientes e o desenvolvimento da agricultura de precisão impulsionam a adoção de novas abordagens, como o Mapeamento Digital de Solos (MDS). Essa metodologia busca viabilizar levantamentos de forma mais ágil e precisa, utilizando ferramentas de geotecnologia avançada. (FLACH e CORRÊA, 2017).

O desafio de produzir informações sobre a distribuição espacial de classes e atributos de solos em um território de grandes dimensões, como o Brasil, torna imprescindível uma revisão teórica dos principais métodos de mapeamento de solos, desde os tradicionais até os digitais, contextualizando-os à realidade brasileira. O planejamento sustentável das atividades humanas exige um entendimento profundo dos ecossistemas e, principalmente, dos serviços ambientais prestados por esses ambientes (SANCHEZ et al., 2009).

Zoneamentos como o Zoneamento Agrícola de Risco Climático e o Zoneamento Ecológico-Econômico ilustram essa necessidade. No entanto, esses instrumentos só são eficazes quando acompanhados por materiais cartográficos precisos, em escalas adequadas e com um grande volume de informações. Infelizmente, a disponibilidade de tais materiais é limitada e, muitas vezes, inadequada. Os custos elevados dos levantamentos, a vasta extensão

territorial e o difícil acesso a algumas regiões são desafios determinantes para a produção desses mapas. (EMBRAPA, 2013).

2.1.1 Levantamento pedológico

O levantamento pedológico refere-se à representação da distribuição geográfica dos solos, determinada por um conjunto de inter-relações entre as propriedades do ambiente. Esse levantamento prevê e delimita as áreas de ocorrência dos solos na paisagem, fornecendo uma base técnica e econômica para o uso, manejo e conservação dos solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2015). O produto final desse levantamento é um mapa acompanhado de um relatório explicativo, que descreve a distribuição dos solos e suas respectivas classes.

Essas informações pedológicas são fundamentais para tomadas de decisões, tanto no meio agrícola quanto no urbano. Dado o papel decisivo que o levantamento pedológico tem e o seu impacto na sociedade, é importante avaliar se sua execução está sendo conduzida de maneira adequada.

2.1.2 Mapeamento tradicional de solos

O mapeamento tradicional de solos foi o primeiro método desenvolvido, baseado em observações empíricas obtidas por meio de visitas de campo. As características dos solos são representadas por polígonos, cujos limites são inferidos com base em observações de campo ou na interpretação de imagens de aerofotogrametria. O processo envolve uma revisão histórica da área de estudo e a coleta de informações sobre a paisagem, relevo, vegetação e uso do solo, entre outros. Após a verificação em campo, amostras de solo são coletadas e enviadas para análise laboratorial, onde suas características físicas, químicas e mineralógicas são avaliadas. (EMBRAPA, 2013).

Embora esse método seja eficiente para áreas menores, ele se torna impraticável para um país de grandes dimensões e em áreas de difícil acesso como no Brasil. Além disso, o longo tempo necessário para realizar o mapeamento pode resultar em dados desatualizados, que não mais refletem a realidade do espaço.

2.1.3 Mapeamento digital de solos

Devido às limitações do mapeamento tradicional, tanto em termos de custo quanto de tempo, surge a necessidade de métodos mais ágeis e acessíveis. A pedometria, com o uso de métodos matemáticos e estatísticos, oferece uma abordagem quantitativa para modelar as propriedades e classes dos solos, prevendo sua distribuição espacial. Essa técnica pode ser comparada a métodos de interpolação espacial, como o IDW (Inverse Distance Weighting), que usa informações de pontos conhecidos para prever as características de pontos desconhecidos.

A pedometria tem avançado como uma ciência baseada em modelos numéricos e estatísticos, resolvendo problemas de imprecisão e confiabilidade. Seu crescimento como campo de estudo torna indispensável considerar o papel dos geógrafos no planejamento territorial, especialmente no contexto da pedometria. (EMBRAPA, 2013).

Com o avanço tecnológico, o Mapeamento Digital de Solos (MDS) emergiu como uma abordagem inovadora para a manipulação e análise de informações espaciais. Essa técnica utiliza modelos numéricos e ferramentas avançadas, como drones e satélites, para coletar dados sobre a distribuição e as características dos solos em escalas variadas. O MDS baseia-se em relações matemáticas entre variáveis ambientais, como geomorfologia, vegetação, relevo e uso do solo, permitindo inferir a distribuição das classes de solo com precisão. (EMBRAPA, 2013).

Uma das principais vantagens do MDS é sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados de forma rápida e eficiente. Por meio da análise de imagens de satélites e dados obtidos via sensores remotos, como satélites e/ou drones, é possível gerar mapas detalhados que revelam a variabilidade espacial dos solos. Essa informação é vital para diversas aplicações, incluindo planejamento agrícola, gestão de recursos hídricos e conservação ambiental. (FLACH e CORRÊA, 2017).

Além disso, o MDS se integra à agricultura de precisão, uma prática que busca otimizar o uso de insumos e recursos agrícolas. Com o uso de técnicas de mapeamento digital, os agricultores podem identificar áreas específicas que exigem intervenções diferentes, como

fertilização ou irrigação. Isso não apenas aumenta a eficiência na produção agrícola, mas também minimiza o impacto ambiental, promovendo uma gestão mais sustentável do solo.

Outro aspecto relevante do MDS é sua capacidade de atualização contínua. Ao contrário dos métodos tradicionais, que podem levar meses ou até anos para serem concluídos, o mapeamento digital pode ser realizado de maneira recorrente, permitindo que as informações permaneçam atualizadas e relevantes. Isso é particularmente importante em um contexto de mudanças climáticas e variações nos padrões de uso do solo. (MENDONÇA SANTOS et al., 2006)

O uso de inteligência artificial e machine learning também tem se mostrado promissor no MDS. Essas tecnologias permitem a análise de grandes conjuntos de dados, identificando padrões e correlações que podem não ser evidentes em análises tradicionais. Assim, modelos preditivos mais sofisticados podem ser desenvolvidos, melhorando ainda mais a precisão do mapeamento e a compreensão da dinâmica dos solos (EMBRAPA, 2023).

2.1.4 Mapeamento de solos por determinação espectral

A principal demanda por levantamentos pedológicos vem da agricultura que, com o avanço da agricultura de precisão, passou a exigir maior detalhamento e eficiência na delimitação dos solos e nas informações contidas em cada polígono. Isso ocorre porque, para otimizar a produtividade agrícola, é necessário um conhecimento mais preciso das propriedades e da variabilidade dos solos em cada área cultivada. Dessa forma, a delimitação e a caracterização detalhada dos solos tornaram-se essenciais para práticas agrícolas mais eficientes, como o uso adequado de insumos e intervenções específicas para cada tipo de solo. (DEMATTE et al., 2004)

Uma das estratégias mais recentes para aprimorar a precisão dos levantamentos pedológicos está relacionada à absorção e reflexão da energia eletromagnética por diferentes tipos de solo. O sensoriamento remoto, que utiliza a captação de sinais refletidos pela superfície terrestre, permite quantificar os atributos dos solos com base nesses princípios. A reflectância do solo, ou seja, a fração de energia refletida pela superfície, varia conforme o comprimento de onda da radiação e a composição física e química do solo. Para solos com a mesma composição mineralógica, a reflectância tende a diminuir à medida que o tamanho das partículas aumenta.

Diversos fatores influenciam a reflectância, como a umidade, a matéria orgânica, a granulometria e a presença de óxidos de ferro. Solos com maior teor de umidade ou matéria orgânica, por exemplo, apresentam menor reflectância. Já solos com partículas menores tendem a aumentar a reflectância, especialmente quando há maior concentração de areia. Os óxidos de ferro também desempenham um papel importante na cor dos solos, principalmente nos vermelhos e amarelos ricos em argila, o que afeta sua reflectância. (DEMATTE et al., 2005)

A partir dos índices de reflectância, é possível determinar as características de cada área, facilitando a classificação dos solos. O uso do sensoriamento remoto, aliado a esses índices, permite a geração de mapas detalhados que mostram atributos como umidade, textura e composição mineralógica, fundamentais para a agricultura de precisão. Dessa forma, o mapeamento digital, integrado às tecnologias de sensoriamento remoto, oferece uma alternativa eficaz ao método tradicional, proporcionando maior eficiência e rapidez no levantamento de solos. (FLACH e CORRÊA, 2017).

2.2 Mapeamento de Solos no Brasil - PronaSolos

Ao falar do mapeamento de solos no Brasil é importante levar em consideração as contribuições do Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos). O PronaSolos é o maior programa brasileiro de levantamento e interpretação de solos, instituído pelo Decreto Presidencial nº 9.414 de 19 de junho de 2018 e ajustado pelo Decreto nº 10.269 de 6 de março de 2020. Coordenado pelo Ministério da Agricultura, o programa visa fornecer informações detalhadas sobre os solos do país em escalas que variam entre 1:25.000 e 1:100.000. Seu objetivo é mapear 1,3 milhão de km² nos primeiros 10 anos e mais 6,9 milhões de km² até 2048. Essas informações visam subsidiar políticas públicas e promover o desenvolvimento sustentável. O financiamento previsto é de R\$4 bilhões ao longo de 30 anos, com benefícios projetados que podem chegar a R\$185 para cada real investido. Além disso, os dados gerados serão disponibilizados em uma base pública, integrando-se à Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527/2011) para facilitar a transparência e consulta pela sociedade e órgãos governamentais (EMBRAPA, 2018).

Com a implementação do PronaSolos, o Brasil busca reverter a escassez de dados detalhados sobre solos, um problema histórico que impede o uso eficiente da terra para fins

agrícolas, urbanos e ambientais. Além do mapeamento, o programa apoia o planejamento de manejo sustentável, práticas de conservação e zoneamento territorial, beneficiando tanto a agropecuária quanto o urbano. A estrutura organizacional do programa inclui gerências regionais e núcleos estaduais, e sua execução é realizada de forma cooperativa com instituições públicas e privadas em nível federal e estadual, envolvendo inclusive a sociedade civil e o setor acadêmico para a elaboração de estudos e pesquisas de longo prazo.

Embora o programa represente um grande avanço na tentativa de solucionar a carência de informações detalhadas sobre os domínios pedológicos no Brasil, ele enfrenta críticas importantes em relação à atualização e sustentabilidade dos dados coletados. Programas desse tipo, que se estendem por décadas, correm o risco de que seus resultados se tornem obsoletos antes mesmo da conclusão completa. Isso é especialmente problemático em um cenário onde as condições ambientais e de uso da terra mudam rapidamente devido ao avanço da urbanização, mudanças climáticas e expansão agropecuária.

A simples produção de dados não é suficiente para garantir a efetividade no planejamento e conservação territorial. A integração contínua de tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelos digitais é necessária para que os levantamentos mantenham relevância e aplicabilidade ao longo do tempo (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Além disso, há uma demanda crescente por metodologias dinâmicas e atualizadas, que permitam a correção e a complementação de informações de maneira mais ágil, algo que programas estáticos como o PronaSolos dificilmente conseguirão atingir sem mudanças estruturais significativas.

Nesse contexto, a crítica levantada é que apenas levantar dados uma vez ao longo de muitas décadas não é mais adequado para a gestão eficiente do território, exigindo uma abordagem mais ativa e contínua. A dependência de levantamentos tradicionais, se não for acompanhada por sistemas integrados e atualizáveis, pode gerar a necessidade de novos mapeamentos antes mesmo de 2048, perpetuando um ciclo de atraso informacional e aumentando custos operacionais. Para que o PronaSolos tenha um impacto real e sustentável, será essencial combinar os levantamentos iniciais com sistemas de monitoramento constante e uma base de dados viva, que incorpore mudanças no uso da terra e no clima com maior frequência. Essa visão é reforçada pela crescente adoção de métodos digitais para aprimorar a

precisão dos mapeamentos e permitir ajustes contínuos, algo que pode ser decisivo para que os dados não se tornem obsoletos rapidamente (CARVALHO et al., 2015).

Contudo, limitar-se apenas ao uso de ferramentas digitais compromete a profundidade necessária para uma análise geográfica eficiente. O geógrafo não pode ser reduzido ao papel de operador técnico; sua prática exige uma abordagem multidisciplinar, integrando tanto os aspectos físicos quanto sociais do território. A dependência exclusiva de SIG e geotecnologias desconsidera a complexidade das dinâmicas sociais e culturais que moldam a ocupação e uso da terra. Assim, metodologias participativas, como a cartografia social, são fundamentais para garantir que os levantamentos tradicionais reflitam as realidades ambientais e humanas de forma integrada (SILVA e VERBICARO, 2016).

2.3 O Papel do Geógrafo no Mapeamento de Solos

O papel do geógrafo no mapeamento de solos envolve a coleta, organização e análise de dados pedológicos com o objetivo de melhor compreender como o solo interage com os aspectos naturais e sociais do território. Além de identificar tipos de solo e suas características, o geógrafo busca interpretar essas informações de maneira integrada para subsidiar a gestão territorial sustentável. Essa abordagem combina não apenas metodologias de campo, mas também técnicas como o sensoriamento remoto, que somadas a uma análise geográfica crítica conforme defendida por Yves Lacoste (1976), é possível produzir produtos cartográficos que ultrapassam a mera representação gráfica e carregam consigo um olhar capaz de orientar tanto políticas públicas quanto ações privadas de forma integralista.

Pierre George (1964), em *A Geografia Ativa*, destaca a importância de uma atuação crítica, onde a figura do geógrafo vai além da simples ação descritiva do terreno e entende a relevância dos processos econômicos e sociais na configuração do espaço. Essa visão é essencial no contexto pedológico, pois permite que o geógrafo produza não apenas informações técnicas, mas conhecimento aplicável para enfrentar desafios ambientais e sociais.

A prática do mapeamento de solos no Brasil reflete essa complexidade. Projetos como o RADAMBRASIL e os levantamentos conduzidos pela EMBRAPA representam exemplos do papel estratégico do geógrafo, conectando o conhecimento do solo às necessidades do planejamento urbano, agrícola e ambiental (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; MENDONÇA-

SANTOS et al., 2006). Dessa forma, o trabalho do geógrafo na pedologia não se limita à produção de mapas, mas também promove uma compreensão profunda das interações espaciais que orientam a gestão dos recursos naturais.

2.3.1 Conceito Tradicional do Geógrafo

Segundo a perspectiva da geografia crítica, o geógrafo superou o papel de ser apenas alguém que observa e mapeia a terra. Ele passou a ser um mediador das diversas conexões entre natureza e sociedade, buscando compreender o espaço como um todo em constante evolução. Este ponto de vista é moldado por pensadores como Paul Vidal de La Blache e Carl Ritter, que destacam a importância de reconhecer o ambiente e os estilos de vida como elementos interconectados na organização espacial (VIDAL DE LA BLACHE, 1954)

Ao longo da história, a geografia passou de uma mera ciência descritiva para buscar ativamente a mudança social e advogar por um ambiente mais justo e sustentável. Milton Santos argumenta a favor dessa mudança, acreditando que o espaço reflete a influência da tecnologia, economia e cultura, que estão entrelaçadas com as dinâmicas sociais e de poder (SANTOS, 1996; SANTOS, 2008).

Na geografia crítica, o espaço é visto não apenas como uma localização física, mas como um produto da sociedade que reflete as disparidades econômicas e políticas presentes. Henri Lefebvre e David Harvey concordam com essa perspectiva, destacando a forma como o espaço é construído e amplifica as contradições do capitalismo, exigindo intervenções que facilitem uma transformação societal significativa (LEFEBVRE, 2013; HARVEY, 2005).

Além disso, os geógrafos visam unir o conhecimento criando metodologias que integrem elementos naturais e sociais, a fim de superar a fragmentação. Portanto, é importante abordar o planejamento territorial e a gestão de forma interdisciplinar para atender adequadamente às necessidades socioambientais modernas. Visualizar o espaço como um todo dinâmico, com interação contínua entre técnica, economia e cultura, demonstra a necessidade de integração (SANTOS, 1996).

Como resultado, o geógrafo ultrapassa a mera tarefa de criar mapas e dados para se tornar um catalisador para a mudança societal. O espaço é visto como um meio para criar uma

sociedade mais justa, utilizando informações geográficas para advogar por justiça e sustentabilidade (HARVEY, 1973).

2.3.2 Mudanças no Papel do Geógrafo com Novas Metodologias

Com a evolução das tecnologias e a difusão dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o papel do geógrafo tem se transformado significativamente. O profissional que antes interpretava as complexas relações entre meio físico e sociedade vê-se, por vezes, limitado a funções operacionais, restringindo seu potencial analítico e multidisciplinar. Essa limitação compromete a essência da geografia, que sempre integrou fatores físicos, sociais, econômicos e culturais na análise do espaço (SANTOS, 1988). As técnicas de geoprocessamento, embora úteis, podem se tornar barreiras à análise crítica quando aplicadas de maneira estritamente técnica. Por isso, é essencial buscar uma abordagem integrada e reflexiva, capaz de capturar a complexidade das interações sociais e ambientais que moldam o espaço geográfico.

A análise integrada é essencial para preservar a multidimensionalidade da geografia. O espaço não é apenas um dado físico; ele é produto de relações sociais em constante transformação. Lefebvre (2013) destaca que compreender essas dinâmicas é fundamental para evitar análises reducionistas. A dependência exclusiva de aspectos físicos ou quantitativos pode comprometer a profundidade da análise e distanciá-la de uma perspectiva crítica e socialmente relevante.

A tecnologia, nesse contexto, deve ser vista como uma ferramenta estratégica, não um fim em si mesma. O uso de técnicas de geoprocessamento pode ampliar as possibilidades de análise, mas precisa ser aliado a uma perspectiva crítica. O espaço é tanto físico quanto social e vivido, e essa dimensão exige que o geógrafo vá além da técnica, reconhecendo as contradições e desigualdades que moldam o território (LEFEBVRE, 2013). A especialização excessiva pode simplificar as análises, fragmentando o conhecimento e obscurecendo dinâmicas sociais mais sutis.

Portanto, o papel do geógrafo não se resume à produção de mapas ou ao manejo de dados. Sua função é preservar a interdisciplinaridade e utilizar o espaço como recurso para promover sociedades mais justas e equitativas. Embora as ferramentas tecnológicas ampliem as possibilidades, é essencial que não substituam a capacidade interpretativa e reflexiva do

profissional. O geógrafo deve adotar uma postura crítica, questionando os interesses e relações de poder que influenciam a configuração do espaço (HARVEY, 2005).

Um dos principais desafios da prática geográfica contemporânea é evitar a redução da análise a dados quantitativos. A ênfase excessiva em informações georreferenciadas pode obscurecer as experiências vividas e as percepções das populações locais. Nesse sentido, o trabalho de campo e a observação direta continuam indispensáveis para captar nuances que escapam aos dados estatísticos. Harvey (2005) alerta que a desconexão com o território pode resultar em análises superficiais, distantes das necessidades concretas das comunidades. Assim, para garantir uma compreensão profunda das realidades locais, é imprescindível que o geógrafo mantenha uma conexão constante com o território.

3. Metodologias

No contexto de uma análise crítica, é fundamental explicar detalhadamente as metodologias que serão objeto de avaliação, garantindo assim a validade do embasamento teórico. Conhecer profundamente o que se crítica é essencial; portanto, o capítulo a seguir descreve as duas principais metodologias aplicadas no mapeamento pedológico abordadas ao longo desse estudo: o mapeamento tradicional de solos e o mapeamento digital de solos.

3.1 Mapeamento tradicional de solos

O mapeamento tradicional de solos é uma prática na ciência do solo, cujo objetivo é identificar, classificar e mapear os diferentes tipos de solos em uma área específica. Este processo compreende várias etapas que englobam desde a preparação pré-campo até a elaboração do relatório final, combinando observações de campo, análises laboratoriais e técnicas cartográficas (EMBRAPA, 2013).

3.1.1 Preparação pré campo

A etapa inicial envolve a definição clara dos objetivos do mapeamento, estabelecendo os propósitos do estudo, que podem ser agrícolas, ambientais, urbanos, entre outros. É importante determinar a escala do mapeamento e o nível de detalhe necessário para atender aos objetivos propostos (EMBRAPA, 2011). Em seguida, realiza-se uma revisão bibliográfica e a coleta de dados secundários, incluindo mapas existentes, como topográficos, geológicos, climáticos e de vegetação, além de estudos anteriores sobre solos na região (IBGE, 2015). Dados socioeconômicos, como o uso atual do solo e as atividades econômicas predominantes, também são coletados para contextualizar o estudo.

O planejamento logístico é outro elemento do processo de preparação, em que se delimita a área de estudo definindo os limites físicos. Aspectos como acesso e transporte devem ser considerados, identificando rotas e meios de locomoção adequados. Além disso, é elaborado um inventário dos equipamentos necessários, como GPS, trado, bússola e cadernos de campo (EMBRAPA, 2011).

3.1.2 Trabalho de campo

No campo, realiza-se um reconhecimento inicial da área, observando-se a paisagem em termos de relevo, vegetação e hidrografia. Identificam-se unidades de terreno, que são áreas com características semelhantes, para orientar a coleta de dados (IBGE, 2015). A coleta de dados de solo envolve a abertura de perfis de solo em locais representativos de cada unidade de terreno. A escavação dos perfis permite a exposição dos horizontes do solo, possibilitando uma descrição morfológica detalhada (EMBRAPA, 2011). Aspectos como a espessura dos horizontes, cor (utilizando a tabela Munsell), textura, estrutura, presença de raízes, matéria orgânica e pedras são registrados (LEMOS e SANTOS, 1996).

A amostragem de solo é realizada coletando-se amostras perturbadas, destinadas a análises físicas e químicas, e amostras indeformadas, para estudos de estrutura e densidade (USDA, 1993). O georreferenciamento é efetuado registrando-se as coordenadas extraídas dos pontos de coleta com o uso de GPS, além de anotações sobre as condições climáticas, vegetação e uso da terra no momento da coleta.

3.1.3. Análises laboratoriais

As amostras coletadas são submetidas a análises laboratoriais que englobam tanto aspectos físicos quanto químicos do solo (EMBRAPA, 2011). Nas análises físicas, determina-se a textura do solo através das frações de areia, silte e argila. Avalia-se a densidade e a porosidade para entender a compactação e o espaço poroso, bem como a capacidade de retenção de água, que é essencial para o manejo hídrico (IBGE, 2015).

As análises químicas envolvem a determinação do pH e da acidez potencial, fatores que influenciam diretamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A quantidade de matéria orgânica é avaliada como um indicador da fertilidade e saúde do solo. Além disso, são quantificados os níveis de nutrientes disponíveis, como nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes essenciais (LEMOS e SANTOS, 1996).

3.1.4. Interpretação e classificação dos solos

Com os dados coletados, procede-se à interpretação e classificação dos solos. Utilizam-se sistemas padronizados, como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), para realizar a classificação taxonômica, identificando as classes de solo com base nas características

observadas (SANTOS et al., 2018). A delimitação das unidades de mapeamento é realizada através da integração das informações de campo e laboratório, analisando-se os dados para agrupar solos com características semelhantes (IBGE, 2015).

A elaboração do mapa de solos envolve a cartografia dos limites das unidades no mapa base, utilizando-se Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para assegurar precisão e qualidade (EMBRAPA, 2011). A legenda e a simbologia são elaboradas para garantir clareza na representação das diferentes classes de solo.

3.1.5. Relatório final e aplicações

O processo todo resulta na elaboração de um relatório final que documenta as observações e conclusões do estudo. Cada unidade de solo identificada é descrita detalhadamente, incluindo interpretações sobre o potencial de uso, limitações e recomendações de manejo (EMBRAPA, 2011). A validação dos resultados é uma etapa essencial, na qual o trabalho é submetido à revisão por pares, permitindo a avaliação por outros especialistas. Ajustes e correções são realizados conforme necessário, aprimorando a qualidade e confiabilidade das informações (IBGE, 2015).

Por fim, os resultados são divulgados ao público, como agricultores, gestores ambientais e órgãos públicos. As informações geradas são aplicadas no planejamento do uso da terra, em estratégias de conservação e em pesquisas futuras (SANTOS et al., 2018). O mapeamento tradicional de solos é um processo meticuloso que exige a integração de observações de campo, análises laboratoriais e técnicas cartográficas (LEMOS e SANTOS, 1996). Ao seguir esta metodologia, é possível obter um entendimento aprofundado dos solos de uma região, mas tendo em vista que o processo como um todo é custoso e demorado.

3.2 Mapeamento digital de solos

O mapeamento digital de solos (MDS) emerge como uma abordagem inovadora que aproveita tecnologias geoespaciais, estatísticas avançadas e modelos computacionais para prever e mapear a distribuição espacial de propriedades e classes de solo. Esta metodologia combina dados de campo com variáveis ambientais obtidas de sensoriamento remoto e modelos digitais de terreno, possibilitando a elaboração de mapas com maior precisão e detalhamento. O MDS caracteriza-se por uma sequência estruturada de etapas que visam à representação dos

solos em uma determinada área (CATEN, 2012; CARVALHO JUNIOR et al., 2014; EMBRAPA, 2013).

3.2.1. Definição dos objetivos e planejamento

Inicialmente, define-se claramente o propósito do mapeamento, especificando quais propriedades ou classes de solo serão investigadas (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; EMBRAPA, 2013). Determinam-se a escala e a resolução espacial apropriadas, alinhadas às necessidades do projeto, seja em agricultura de precisão, gestão ambiental ou outras aplicações específicas.

O planejamento envolve a delimitação precisa da área de estudo por meio de coordenadas geográficas e mapas base. Avalia-se a disponibilidade de recursos, incluindo equipe técnica qualificada, equipamentos, softwares especializados e orçamento. Um cronograma detalhado é estabelecido, contemplando todas as fases do projeto e respectivos prazos (EMBRAPA, 2013).

3.2.2. Coleta de dados de campo

A obtenção de dados de campo é realizada através de estratégias de amostragem adequadas à variabilidade ambiental da área de estudo. Podem ser empregadas amostragens aleatórias estratificadas, sistemáticas ou direcionadas (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; EMBRAPA, 2013). Utilizando equipamentos como trados e sondas, coletam-se amostras de solo em pontos georreferenciados com alta precisão. Descrevem-se os perfis e horizontes do solo conforme normas técnicas, e as amostras são enviadas para análises laboratoriais abrangentes, incluindo parâmetros físicos, químicos e mineralógicos (TEIXEIRA et al., 2017).

3.2.3. Coleta e preparação

Nesta fase, são coletadas informações ambientais que servirão como preditoras nos modelos. Imagens de satélite, tanto ópticas (por exemplo, Landsat, Sentinel-2) quanto de radar (como Sentinel-1), são processadas para extração de informações relevantes (FLORENZANO, 2011; CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Procedimentos de correção radiométrica e atmosférica são aplicados se necessário, e índices espectrais são calculados.

Modelos digitais de elevação permitem derivar atributos topográficos fundamentais, como declividade, aspecto e curvatura, que influenciam processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2013). Dados climáticos, hidrológicos, geológicos e de uso da terra são integrados ao conjunto de variáveis, proporcionando uma base para a modelagem preditiva.

3.2.4. Análise estatística e exploratória dos dados

Realiza-se uma análise estatística descritiva dos dados de solo, verificando a distribuição das propriedades e identificando possíveis outliers (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Análises espaciais, como a construção de semivariogramas, ajudam a compreender a dependência espacial das variáveis estudadas. A correlação entre as propriedades do solo e as variáveis ambientais é investigada para selecionar as variáveis mais relevantes para os modelos (EMBRAPA, 2013). Métodos estatísticos, como análise de componentes principais ou análise de correlação canônica, auxiliam na redução da dimensionalidade dos dados e na identificação de padrões subjacentes (FLORENZANO, 2011).

3.2.5. Modelagem preditiva

A modelagem preditiva constitui o núcleo do Mapeamento Digital de Solos (MDS), que requer a escolha de modelos estatísticos e algoritmos de aprendizado de máquina adequados à natureza dos dados e aos objetivos do estudo. Entre os modelos empregados no MDS, destacam-se:

I) Regressões lineares múltiplas: este método estatístico estabelece uma relação linear entre uma variável dependente (como uma propriedade do solo) e múltiplas variáveis independentes (variáveis ambientais). É utilizado para quantificar a influência das variáveis preditoras sobre a variável resposta, assumindo que as relações são lineares e aditivas (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Apesar de sua simplicidade, pode não capturar relações não lineares presentes nos dados.

II) Krigagem: técnica de interpolação geoestatística que considera a dependência espacial dos dados para estimar valores em locais não amostrados; utiliza semivariogramas para modelar a variabilidade espacial e fornece estimativas com erro mínimo (CATEN, 2012).

III) Árvores de decisão: por meio de algoritmos de aprendizado de máquina que repartem os dados em ramificações baseadas em condições sobre as variáveis preditoras, formando uma estrutura hierárquica de decisões (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). São eficazes para modelar relações não lineares e interações complexas entre as variáveis ambientais e as propriedades ou classes de solo.

IV) Random forest: é um método que combina múltiplas árvores de decisão construídas a partir de diferentes subconjuntos dos dados e das variáveis e ao agregar as predições dessas árvores, o random forest melhora a precisão preditiva e reduz o risco de sobre ajuste (overlapping) (CARVALHO JUNIOR et al., 2014).

V) Máquinas de vetores de suporte (SVM): algoritmos buscam encontrar um hiperplano que separa os dados em diferentes classes, sendo eficazes em problemas de classificação com dados complexos e não linearmente separáveis. As SVM podem utilizar diferentes funções kernel para lidar com não linearidades (CARVALHO JUNIOR et al., 2014).

VI) Redes neurais artificiais: modelos computacionais inspirados no sistema nervoso humano, capazes de aprender padrões complexos e não lineares a partir dos dados. No MDS, as redes neurais são utilizadas para modelar relações não lineares entre variáveis ambientais e propriedades ou classes de solo, capturando interações que outros modelos podem não detectar (CATEN, 2012).

A escolha do modelo adequado depende de vários fatores, incluindo a natureza dos dados, os objetivos específicos do estudo e o conhecimento do técnico responsável (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). É comum testar diferentes modelos e comparar seus desempenhos para selecionar aquele que oferece os melhores resultados para o conjunto de dados em questão (CATEN, 2012).

A calibragem dos modelos é feita com um conjunto de treinamento e validada com um outro conjunto de teste independente. A validação cruzada é frequentemente empregada para avaliar a generalização dos modelos. Métricas como erro médio absoluto, erro quadrático médio e coeficiente de determinação são calculadas para mensurar o desempenho preditivo.

Uma vez aplicados os modelos calibrados para prever as propriedades ou classes de solo em toda a extensão da área de estudo, são obtidos mapas contínuos ou categóricos que representam espacialmente as características do solo com alta resolução (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). A incerteza associada às predições é analisada, produzindo-se mapas de incerteza que indicam a confiabilidade dos resultados em diferentes regiões. A propagação de erros é considerada para compreender o impacto das incertezas nas variáveis sobre as predições finais (MELLO e OLIVEIRA, 2016).

3.2.6. Pós-processamento e representação cartográfica

Os mapas gerados passam por um pós-processamento para aprimorar a qualidade visual e eliminar possíveis artefatos. Técnicas de suavização e filtragem são aplicadas conforme necessário (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). A representação cartográfica é cuidadosamente planejada, com a seleção de simbologia, paletas de cores e legendas que facilitem a interpretação por diferentes públicos (EMBRAPA, 2013).

Elabora-se um relatório técnico detalhado que documenta todo o processo metodológico, os dados utilizados, os resultados obtidos e as interpretações realizadas. São discutidas as limitações do estudo e propostas recomendações para trabalhos futuros (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; EMBRAPA, 2013). A divulgação dos resultados é realizada por meio de publicações científicas, apresentações em eventos acadêmicos e disponibilização dos mapas e dados em plataformas apropriadas.

4. Discussão e análise crítica

4.1 Comparação das metodologias

O mapeamento de solos desempenha um papel importante no planejamento e manejo sustentável dos recursos naturais. Com o avanço tecnológico, surgiram novas metodologias que transformaram significativamente essa área, destacando-se o mapeamento digital de solos como uma alternativa ou complemento ao método tradicional (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; SANTOS et al., 2018). Este capítulo compara as metodologias de mapeamento de solos tradicional e digital, destacando suas vantagens, limitações e impactos na prática pedológica, além de analisar como as metodologias atuais têm influenciado o papel do geógrafo.

O mapeamento de solos tradicional baseia-se na observação direta em campo, na interpretação do pedólogo e em técnicas cartográficas convencionais. Uma de suas principais vantagens é o detalhamento qualitativo profundo proporcionado pela experiência do especialista. A interpretação direta permite identificar características sutis e específicas dos solos, fornecendo descrições morfológicas completas dos perfis, incluindo informações difíceis de quantificar digitalmente (EMBRAPA, 2011; SANTOS et al., 2018). Além disso, essa metodologia apresenta alta validade local, sendo ideal para estudos em pequenas escalas onde o detalhamento é maior (CARVALHO JUNIOR et al., 2014). A interação direta com o ambiente possibilita considerar fatores contextuais imediatos, resultando em maior precisão local. Outra vantagem é a menor dependência tecnológica, pois requer apenas ferramentas básicas de campo, reduzindo custos e tornando-se aplicável em áreas remotas com infraestrutura limitada (LEPSCH, 2010; IBGE, 2015).

Entretanto, o mapeamento tradicional apresenta limitações significativas. O custo e o tempo elevados são desafios importantes, já que a metodologia é intensiva em mão de obra, demandando muito tempo de campo e pessoal especializado. Isso dificulta a cobertura de extensas regiões geográficas, tornando-se ineficiente para mapeamentos em larga escala (EMBRAPA, 2013; CARVALHO JUNIOR et al., 2014; IBGE, 2015). A subjetividade é outra limitação, pois as diferenças na interpretação entre observadores podem levar a inconsistências nos resultados, complicando a comparação entre estudos diferentes (EMBRAPA, 2011; SANTOS et al., 2018). Além disso, a atualização dos mapas é limitada, uma vez que novas

campanhas de campo são necessárias para revisões, dificultando o acompanhamento de mudanças rápidas no ambiente ou no uso do solo (EMBRAPA, 2013).

Por outro lado, o mapeamento de solos digital utiliza tecnologias geoespaciais, estatísticas avançadas e modelos computacionais para prever e mapear a distribuição espacial de propriedades e classes de solo. Entre suas vantagens, destaca-se a eficiência e escalabilidade, permitindo a cobertura de grandes áreas com rapidez e a produção acelerada de mapas por meio de modelos computacionais (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; MELLO e OLIVEIRA, 2016). A objetividade e reprodutibilidade são fortalecidas pelo uso de modelos quantitativos, reduzindo a subjetividade humana e facilitando a padronização e comparação entre diferentes áreas e estudos (CATEN, 2012). A facilidade de atualização é outro ponto positivo, possibilitando a integração de novos dados sem a necessidade de extensos trabalhos de campo e beneficiando-se continuamente de avanços em sensoriamento remoto e computação (FLORENZANO, 2011; CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Além disso, a análise multivariada avançada, utilizando múltiplas variáveis ambientais e técnicas de aprendizado de máquina, aumenta a precisão das predições e melhora a modelagem de relações complexas entre solos e ambiente.

O mapeamento digital também apresenta certas limitações que devem ser ressaltadas. Há uma dependência significativa de dados de alta qualidade, sendo que a precisão das predições está diretamente ligada à qualidade dos dados de entrada (MELLO e OLIVEIRA, 2016). Em regiões com escassez de dados confiáveis, as predições podem ser menos precisas e a complexidade técnica é um desafio, exigindo conhecimento especializado em estatística, programação e geoprocessamento. Além disso, há incertezas nos modelos, uma vez que podem não capturar todas as variáveis influentes, levando a erros de modelagem. A dependência de assunções estatísticas, se violadas, pode comprometer os resultados. Os custos tecnológicos também são consideráveis, envolvendo investimentos em equipamentos e softwares especializados, além do acesso a dados de alta resolução que podem ser caros ou difíceis de obter (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2018).

Comparando as metodologias, observa-se que o mapeamento tradicional oferece alto detalhamento local, mas é menos eficiente em representar a variabilidade espacial em grandes áreas. Já o mapeamento digital fornece uma visão abrangente da variabilidade espacial,

podendo perder detalhes específicos de locais particulares (CARVALHO JUNIOR et al., 2014; SANTOS et al., 2018). Em termos de eficiência e escala, o método tradicional é mais adequado para áreas pequenas devido ao tempo e recursos necessários, enquanto o digital escala facilmente para áreas maiores, sendo mais eficiente em termos de tempo (EMBRAPA, 2013; LEPSCH, 2011). Quanto à subjetividade, o tradicional é influenciado pela experiência e julgamento do pedólogo, introduzindo subjetividade, enquanto o digital, baseado em algoritmos e modelos, reduz a subjetividade humana (CATEN, 2012). Em relação à necessidade de dados, o método tradicional requer menos dados pré-existentes, mas depende de intensas campanhas de campo, ao passo que o digital depende fortemente de dados ambientais e de solo de qualidade para a modelagem (MELLO e OLIVEIRA, 2016). Sobre a flexibilidade e atualização, o tradicional é menos flexível para atualizações rápidas devido à necessidade de trabalho de campo adicional, enquanto o digital permite atualizações frequentes conforme novos dados se tornam disponíveis (FLORENZANO, 2011; CARVALHO JUNIOR et al., 2014). Por fim, a complexidade técnica difere: o método tradicional utiliza técnicas mais simples, mas exige profundo conhecimento pedológico, geomorfológico e biogeográfico, enquanto o digital envolve técnicas complexas que requerem conhecimento técnico.

As metodologias modernas no mapeamento de solos representam uma evolução significativa, proporcionando ferramentas capazes de auxiliar na dificuldade em cobrir vastas regiões a serem mapeadas e a melhor gerenciar os solos, de forma mais eficiente e precisa. No entanto, equilibrar os benefícios dessas metodologias com a riqueza do conhecimento tradicional é essencial, garantindo que a tecnologia seja utilizada de forma responsável e inclusiva (LEPSCH, 2010). A sinergia entre as abordagens modernas e tradicionais, aliada a políticas e práticas que promovam a capacitação e o acesso equitativo, é fundamental para maximizar os benefícios e contribuir para a sustentabilidade ambiental e socioeconômica (EMBRAPA, 2013; SANTOS et al., 2018).

4.2 Comparação dos resultados obtidos com cada metodologia

Os métodos de mapeamento de solos convencional e digital apresentam diferenças marcantes em suas abordagens, implicações metodológicas e resultados, especialmente em áreas de grande complexidade. O estudo conduzido por Osmar Bazaglia Filho (2012) destacou essas distinções ao comparar mapas gerados de forma convencional e um modelo obtido por

meio do Mapeamento Digital de Solos (MDS) em uma área cultivada com cana-de-açúcar. Esses métodos, embora eficazes em seus respectivos contextos, possuem vantagens e limitações que impactam diretamente a qualidade e a aplicabilidade dos mapas resultantes.

No método convencional, a elaboração dos mapas baseia-se em observações de campo detalhadas, análise de perfis e a aplicação do conhecimento teórico e tácito do pedólogo. A subjetividade inerente ao processo é uma característica essencial, mas também problemática, pois resulta em variações significativas entre mapas produzidos por diferentes profissionais. Essa dependência da interpretação individual afeta diretamente a uniformidade e a replicabilidade dos resultados, sobretudo em áreas com solos altamente heterogêneos. Adicionalmente, o mapeamento convencional exige recursos intensivos, como equipes especializadas, análises laboratoriais e extensas visitas de campo, fatores que o tornam mais caro e demorado (BAZAGLIA, 2012).

Por outro lado, o Mapeamento Digital de Solos (MDS) surge como uma alternativa tecnológica que promete maior eficiência e menor custo. Ele utiliza dados quantitativos, como atributos topográficos derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e informações espectrais captadas por sensores remotos, para gerar mapas com o apoio de análises estatísticas e algoritmos preditivos. Bazaglia destaca que o MDS apresentou níveis de correspondência espacial comparáveis aos mapas convencionais, especialmente ao considerar mapas elaborados por profissionais experientes. Além disso, sua maior padronização e menor dependência de critérios subjetivos tornam o MDS uma ferramenta eficiente para grandes áreas e projetos que exigem rapidez na entrega (BAZAGLIA, 2012).

Entretanto, apesar das vantagens evidentes, o MDS possui limitações importantes que não podem ser ignoradas. A sua abordagem matemática e preditiva, embora eficaz na padronização e no processamento de grandes volumes de dados, frequentemente negligencia aspectos mais subjetivos e qualitativos que o pedólogo tradicional considera. A análise digital tende a focar exclusivamente em variáveis quantificáveis, como elevação, declividade e refletância espectral, deixando de lado fatores sociais, históricos e ecológicos que muitas vezes são fundamentais para compreender a interação entre o solo e seu uso na paisagem (BAZAGLIA, 2012). Esse reducionismo pode resultar em mapas tecnicamente precisos, mas

limitados em sua aplicabilidade prática, especialmente em contextos onde questões sociais e econômicas desempenham papel crucial no uso e manejo do solo.

Outro ponto crítico é que a dependência de modelos matemáticos torna o MDS vulnerável a erros associados à qualidade dos dados de entrada. Modelos digitais de elevação com resolução inadequada ou dados espectrais obtidos sob condições ambientais desfavoráveis podem comprometer significativamente a acurácia dos mapas gerados. Bazaglia também observa que, o processo de classificação automatizada, embora eficiente, é incapaz de capturar nuances locais que um pedólogo experiente poderia identificar durante o trabalho de campo (BAZAGLIA, 2012).

Embora o MDS ofereça uma alternativa viável e promissora para otimizar os levantamentos pedológicos, ele não deve ser considerado uma solução completa ou substituta do método convencional. Pelo contrário, sua melhor aplicação parece estar na integração com os métodos tradicionais, utilizando suas forças complementares para alcançar resultados mais robustos. Enquanto o MDS oferece rapidez, padronização e custos reduzidos, o método convencional garante uma análise mais aprofundada e contextual, incorporando fatores que vão além da simples matemática e tecnologia. Dessa forma, o estudo de Bazaglia que compara produtos obtidos a partir de diferentes métodos reforça a importância de adotar uma abordagem equilibrada, na qual as duas metodologias possam coexistir e contribuir mutuamente para atender às crescentes demandas por mapas de solos precisos, detalhados e aplicáveis a realidades complexas e multifacetadas.

O estudo realizado por Osmar Bazaglia Filho (2012), intitulado “Comparação entre mapas de solos obtidos pelos métodos convencional e digital numa área complexa”, apresenta uma análise detalhada das diferenças metodológicas e dos resultados obtidos por meio de mapeamento convencional e MDS. Desenvolvido em uma área de 182 hectares cultivada com cana-de-açúcar no município de Rafard, São Paulo, o trabalho utilizou tanto observações de campo e conhecimento tácito no mapeamento tradicional quanto dados quantitativos de relevo e espectrais para o MDS. Esse estudo é de grande relevância para a ciência do solo, pois aborda a eficiência, as limitações e as aplicações de cada metodologia em contextos pedológicos complexos. A presente análise comparativa utilizou esse estudo como referência bibliográfica

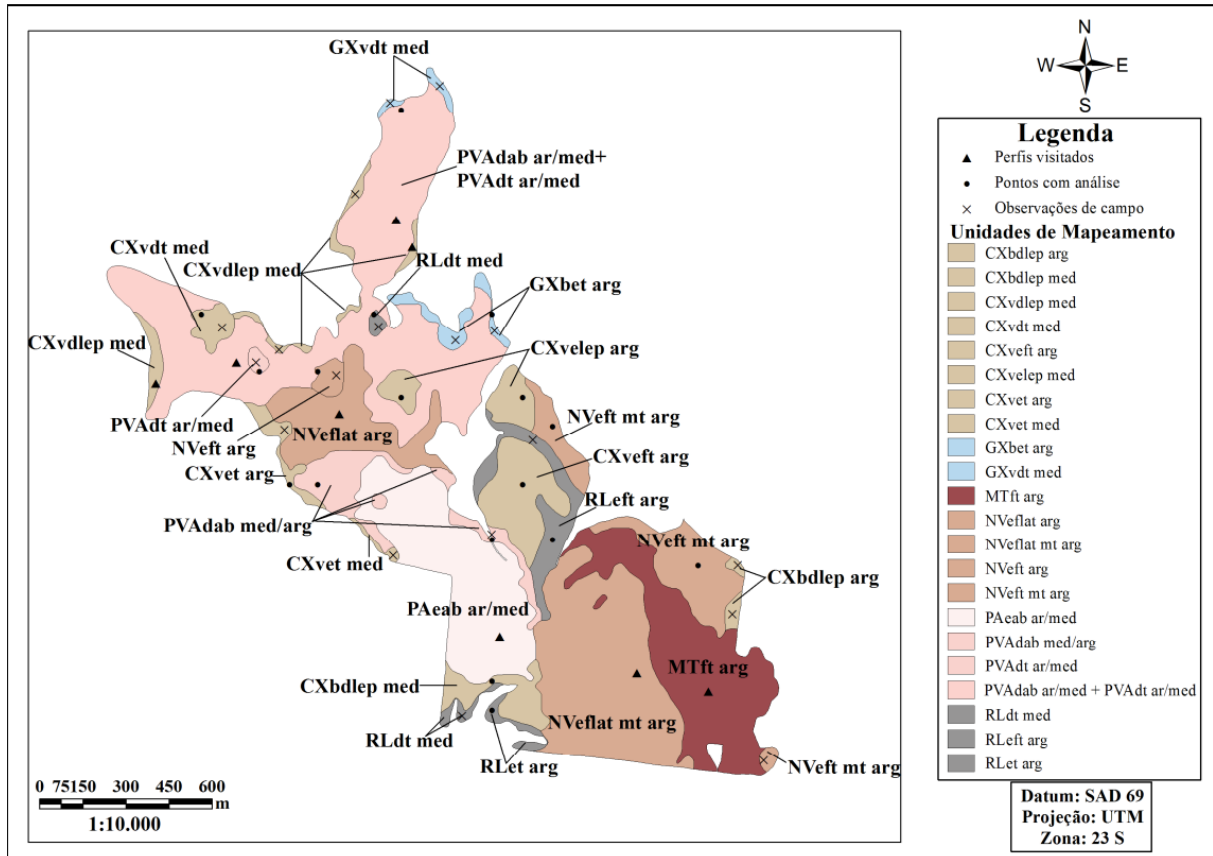


Imagem 2. Mapa (2) obtido através da técnica de MDS utilizando dados de relevo e espectrais. Fonte: Bazaglia Filho (2012).

O Mapa 2, desenvolvido por meio do MDS, utilizou dados quantitativos, como elevação, declividade e fluxo de água, derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), além de informações espectrais de imagens de satélite Landsat 5. Esses dados foram processados por análise de componentes principais (ACP), reduzindo a variabilidade, e segmentados com a técnica Fuzzy K-médias, que dividiu a área em grupos homogêneos. Após a validação em campo, 22 unidades de mapeamento foram definidas, destacando-se o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO textura arenosa/média como a maior unidade. O MDS demonstrou ser uma alternativa eficiente e replicável, com rapidez na geração de mapas e menores custos operacionais. No entanto, sua dependência de dados de alta qualidade e menor sensibilidade a fatores subjetivos representam limitações em áreas pedologicamente complexas (BAZAGLIA, 2012).

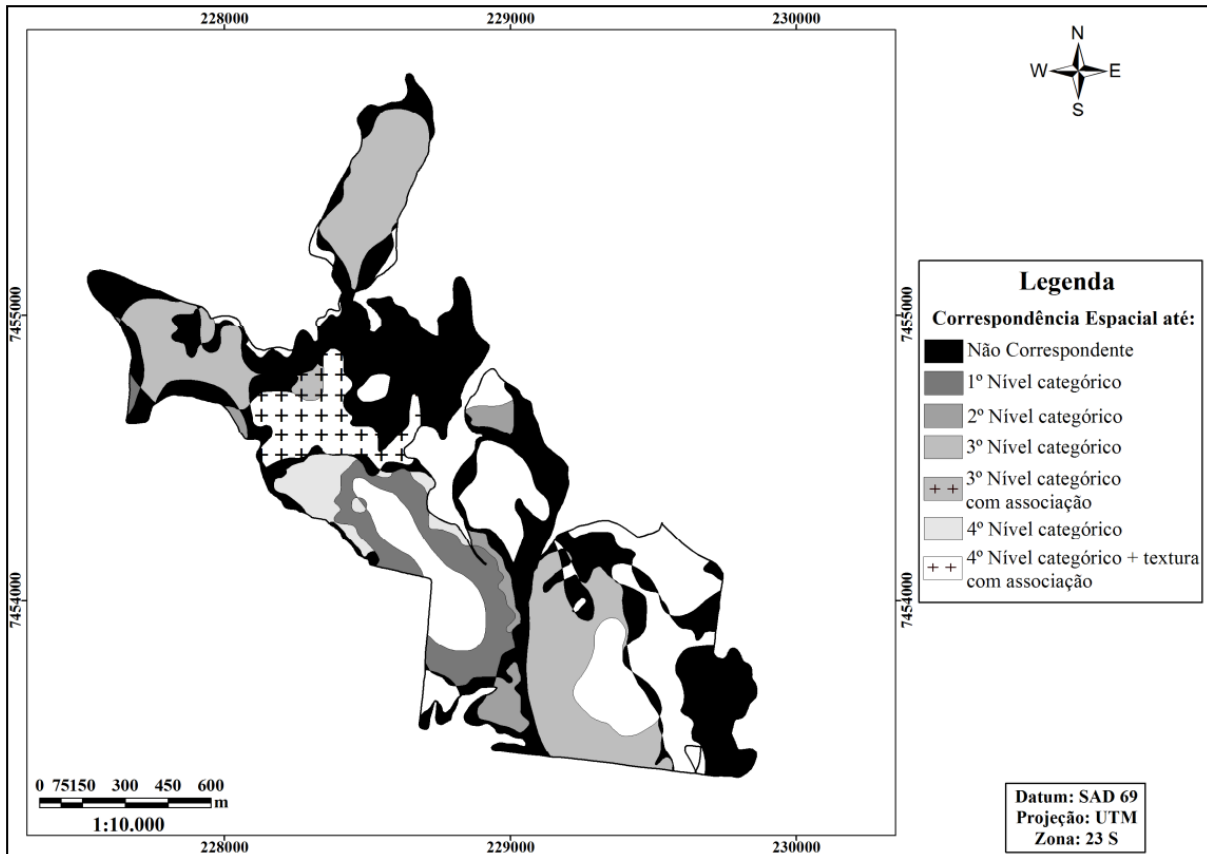


Figura 3. Mapa de concordância da matriz entre os mapas convencional e digital, evidenciando diferenças e áreas de sobreposição. Fonte: Bazaglia Filho (2012).

A análise comparativa entre os mapas evidencia diferenças significativas entre as metodologias. O método convencional demonstrou maior capacidade de capturar nuances locais, como processos erosivos e afloramentos, essenciais para delimitação precisa em áreas heterogêneas. Já o MDS mostrou maior uniformidade e eficiência em áreas homogêneas, sendo particularmente vantajoso para projetos em larga escala. A correspondência espacial entre os mapas foi reduzida em níveis categóricos mais detalhados, refletindo a limitação do MDS em representar atributos qualitativos, como textura e drenagem local, que dependem da interpretação do pedólogo. Por outro lado, o MDS superou o método convencional na padronização e replicabilidade dos resultados, tornando-se uma ferramenta promissora para integrar eficiência operacional e detalhamento contextual, especialmente quando combinado com métodos tradicionais (BAZAGLIA, 2012).

O estudo comparativo entre os métodos de mapeamento tradicional e digital, especialmente no contexto de áreas complexas, oferece uma visão aprofundada das vantagens

e limitações de cada abordagem. Embora o mapeamento digital tenha se mostrado uma ferramenta eficiente e promissora em termos de cobertura espacial e rapidez na geração de mapas, é importante considerar que ele pode não capturar todos os aspectos qualitativos que o mapeamento tradicional consegue identificar, especialmente em locais de alta heterogeneidade. Dessa forma, uma integração entre essas metodologias se apresenta como a solução mais eficaz, permitindo que as vantagens de ambas sejam maximizadas.

Nesse contexto, o geógrafo desempenha um papel fundamental, pois sua formação o capacita a perceber e interpretar as múltiplas dimensões que influenciam o território. Embora profissionais como agrimensores, técnicos em geologia, cartógrafos e outros especialistas desempenhem papéis cruciais na criação e análise de mapas, o geógrafo possui uma visão única e integral na construção, elaboração e interpretação desses produtos. Seu treinamento permite uma abordagem que não se limita apenas à análise física do espaço, mas também considera os processos sociais, econômicos e culturais que moldam a paisagem. Essa abordagem integrada é o grande diferencial do geógrafo, que vê o mapa não apenas como uma representação técnica ou visual, mas como um produto carregado de significados e interações complexas (SANTOS, 1996; HARVEY, 2005).

Ao elaborar um mapa, o geógrafo é capaz de compreender a relação entre os fenômenos naturais e humanos, utilizando uma variedade de dados espaciais — como informações sobre relevo, uso do solo, dados geoespaciais, além de aspectos históricos e culturais. O uso de geotecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto, permite ao geógrafo combinar variáveis físicas e sociais, oferecendo uma análise mais profunda e detalhada do espaço (MENDONÇA-SANTOS & SANTOS, 2006; AQUINO & VALLADARES, 2014). Essa capacidade de integrar dados quantitativos e qualitativos é essencial, especialmente em áreas de alta complexidade, como o mapeamento de solos, onde as variáveis físicas interagem com o uso humano do solo, práticas culturais e, muitas vezes, com fatores históricos que moldam a paisagem. No mapeamento de solos, por exemplo, o geógrafo pode identificar padrões de uso e ocupação que influenciam as características do solo e seus processos de degradação, interpretando como esses fatores se entrelaçam no espaço e no tempo, contribuindo para uma compreensão mais completa dos desafios ambientais e sociais envolvidos (DEMATTE et al., 2004; BAZAGLIA, 2012).

Outro ponto importante é a capacidade crítica do geógrafo de avaliar os impactos ambientais e as implicações sociais de determinado uso do solo. Ao interpretar mapas de solos, o geógrafo não só analisa os atributos do solo, como textura, estrutura e fertilidade, mas também compreende como esses aspectos influenciam as dinâmicas de uso e ocupação, como a agricultura, a urbanização e os problemas de degradação ambiental. Em muitos casos, o geógrafo pode identificar padrões de vulnerabilidade ecológica ou social que outros profissionais poderiam deixar de lado, por não considerarem as dimensões culturais ou históricas que também influenciam a organização espacial (SANTOS, 1996).

Na interpretação dos mapas, o geógrafo possui uma habilidade única de contextualizar os dados geoespaciais dentro de uma narrativa territorial. Ele pode identificar não só as tendências e processos naturais, mas também as influências humanas sobre esses processos, buscando entender como as intervenções humanas, sejam elas políticas, econômicas ou sociais, interagem com as condições naturais do solo. Esse olhar analítico e integrador, que combina dados técnicos com uma leitura crítica dos fatores humanos e ambientais, torna o geógrafo essencial para a elaboração de mapas que não apenas descrevem o território, mas também interpretam suas dinâmicas e oferecem material de estudo para planejamento e gestão territorial (LEFEBVRE, 2013; GEORGE, 1964).

Enquanto outros profissionais focam em aspectos mais técnicos ou especializados do mapeamento, o geógrafo tem a capacidade de integrar e interpretar as múltiplas dimensões do espaço. Sua formação permite não apenas a análise detalhada dos dados espaciais, mas também uma reflexão sobre as implicações sociais, culturais e ambientais desses dados, tornando a interpretação dos mapas mais completa e enriquecida com uma visão crítica e contextualizada do território. Assim, o geógrafo é fundamental para produzir mapas que não apenas representam a realidade espacial, mas também fornecem uma compreensão mais profunda das relações e dinâmicas que definem e transformam o território ao longo do tempo (SANTOS, 1996; LA BLACHE, 1954).

A sinergia entre as abordagens tradicionais e digitais no mapeamento de solos é uma possível solução para a evolução dessa área. Enquanto as tecnologias digitais oferecem velocidade, padronização e redução de custos, os métodos tradicionais continuam sendo insubstituíveis no que tange ao conhecimento local e à interpretação qualitativa dos solos. Como

demonstrado por Bazaglia Filho (2012), o MDS, ao ser combinado com o mapeamento convencional, não apenas otimiza os processos de mapeamento, mas também aprimora a precisão dos resultados, proporcionando uma visão mais holística e contextualizada do solo e suas interações com o ambiente. Nesse sentido, o geógrafo desempenha um papel central ao integrar essas duas metodologias, utilizando sua visão analítica e crítica para garantir que tanto os aspectos técnicos quanto os contextuais sejam levados em conta na construção do mapa. Ao equilibrar as abordagens e integrar as metodologias de forma estratégica, é possível criar mapas mais robustos, adaptáveis às especificidades regionais e às demandas contemporâneas de gestão e preservação dos recursos naturais.

4.3 Consequências para a ciência geográfica

As transformações proporcionadas pelas metodologias modernas têm consequências profundas para a ciência geográfica. A adoção intensiva de técnicas digitais exige que a geografia incorpore novas ferramentas, promovendo uma mudança nas abordagens tradicionais e integrando métodos quantitativos e computacionais às análises geográficas (MELLO e OLIVEIRA, 2016; SANTOS, 1988). O aumento da adoção de técnicas digitais de mapeamento força um cenário cada vez mais robotizado. A integração multidisciplinar é desestimulada, empobrecendo a ciência geográfica, a reduzindo a uma ciência puramente matemática e analítica, sem a devida análise crítica multidisciplinar que leva em consideração diversos fatores humanos e sociais no espaço estudado.

A ênfase excessiva em análises quantitativas pode levar a uma visão limitada dos fenômenos geográficos, reduzindo-os a dados numéricos e modelos estatísticos. Isso pode resultar em políticas públicas e estratégias de planejamento que não consideram adequadamente os contextos culturais, sociais e históricos das comunidades afetadas, gerando soluções inadequadas ou até prejudiciais e aprofundando desigualdades e conflitos socioespaciais. A sociedade perde, assim, a riqueza do conhecimento tradicional e do entendimento qualitativo que os geógrafos tradicionalmente aportam (LEPSCH, 2010). Aspectos como identidade cultural, relações comunitárias, práticas locais de uso do solo e percepção ambiental são difíceis de quantificar, mas fundamentais para o desenvolvimento sustentável e equitativo.

A prática geográfica corre o risco de se tornar excessivamente técnica e desvinculada das realidades sociais. O foco predominantemente quantitativo pode levar à produção de conhecimentos que, embora precisos em termos numéricos, carecem de relevância prática e de aplicabilidade em contextos reais. Os geógrafos podem se distanciar das comunidades e dos territórios que estudam, reduzindo a interação direta com os atores locais e a capacidade de compreender as nuances dos fenômenos espaciais (SANTOS, 1988). Essa mudança também afeta a formação dos profissionais, que passam a ser treinados principalmente em técnicas quantitativas e tecnológicas, em detrimento de habilidades críticas, interpretativas e éticas. A falta de uma perspectiva multidimensional pode limitar a criatividade e a inovação na resolução de problemas, restringindo o papel do geógrafo a um mero técnico de dados.

O distanciamento da geografia tradicional, que valoriza a integração entre o homem e o meio ambiente, representa uma ruptura com a tradição geográfica que sempre buscou compreender o mundo em sua totalidade. Essa desconexão pode levar à fragmentação do conhecimento geográfico, onde diferentes subcampos operam de forma isolada, sem a integração necessária para abordar os desafios multidimensionais do mundo atual. A perda da perspectiva crítica e reflexiva, característica da geografia tradicional, pode limitar a capacidade da disciplina de contribuir para debates sociais mais amplos e para a construção de sociedades mais justas e sustentáveis (SANTOS, 1988; SANTOS, 1996).

Para evitar essas consequências, é fundamental que a geografia mantenha um equilíbrio entre as abordagens quantitativas e qualitativas. As metodologias modernas e tecnologias avançadas oferecem ferramentas valiosas que podem enriquecer a análise geográfica, mas devem ser utilizadas em conjunto com métodos tradicionais que valorizam o contexto, a experiência humana e a interpretação crítica. Os geógrafos precisam atuar como mediadores entre os dados quantitativos e as realidades qualitativas, integrando informações estatísticas com análises provenientes de observações de campo, entrevistas e interações com as comunidades locais. Essa integração permite uma compreensão mais profunda dos fenômenos espaciais e contribui para a elaboração de soluções mais eficazes e socialmente responsáveis.

A ciência geográfica, ao reconhecer a importância de integrar diferentes abordagens, pode oferecer contribuições mais completas e relevantes para a sociedade. Isso inclui influenciar políticas públicas mais inclusivas, promover o desenvolvimento sustentável e

garantir que as vozes das comunidades locais sejam ouvidas e consideradas nos processos de tomada de decisão (MELLO e OLIVEIRA, 2016; SANTOS, 1988). É essencial equilibrar os benefícios das metodologias modernas com a riqueza do conhecimento tradicional, garantindo que a tecnologia seja utilizada de forma responsável e inclusiva. A sinergia entre as abordagens modernas e tradicionais, aliada a políticas e práticas que promovam a capacitação profissional, a participação comunitária e o acesso equitativo às tecnologias, é fundamental para maximizar os benefícios e contribuir para a sustentabilidade ambiental e socioeconômica.

A geografia deve se manter alinhada à sua essência interdisciplinar e humana, combinando rigor técnico com sensibilidade social. Somente assim poderá continuar desempenhando um papel vital na compreensão e transformação do mundo em que vivemos, atendendo às necessidades da sociedade de forma multidisciplinar e responsável. Ao enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades proporcionadas pelas metodologias modernas, a ciência geográfica pode ampliar sua contribuição para o entendimento dos complexos processos que moldam o espaço terrestre, informando políticas públicas e práticas sustentáveis que beneficiem a sociedade como um todo.

5. Conclusão

Este estudo realizou uma análise crítica e comparativa das metodologias de mapeamento de solos, contrastando o mapeamento tradicional com as abordagens digitais modernas, como o Mapeamento Digital de Solos (MDS). Embora o MDS represente um avanço tecnológico significativo, oferecendo eficiência, rapidez e precisão quantitativa, constatamos que ele tende a reduzir a complexidade do espaço geográfico a dados numéricos e modelos estatísticos. Essa simplificação pode levar a interpretações limitadas, desconsiderando aspectos sociais, culturais, históricos e ecológicos essenciais para um planejamento territorial sustentável e inclusivo.

Por outro lado, o mapeamento tradicional de solos, apesar de enfrentar desafios relacionados à escalabilidade e à eficiência em termos de tempo e recursos, incorpora uma compreensão profunda e qualitativa do território. Essa metodologia valoriza a experiência do geógrafo, que atua como mediador das interações entre a natureza física e a sociedade, integrando conhecimentos multidisciplinares que enriquecem a análise espacial.

Diante disso, propõe-se a integração das duas metodologias em uma abordagem híbrida que combine o rigor quantitativo e a eficiência tecnológica do MDS com a profundidade qualitativa e a sensibilidade multidisciplinar do mapeamento tradicional. Essa nova metodologia permitiria não apenas mapear os solos com maior precisão e abrangência, mas também interpretar os dados de forma contextualizada, considerando as dinâmicas sociais, culturais e ambientais que influenciam e são influenciadas pelo solo.

Essa integração reforça o papel do geógrafo como um profissional crítico e reflexivo, capaz de transcender a mera operacionalização técnica. É essencial preservar a essência da prática geográfica, que envolve a compreensão ampla do espaço, integrando aspectos físicos e humanos em uma análise abrangente. Ao adotar uma abordagem integrada, os geógrafos podem contribuir de forma mais significativa para o planejamento territorial, o desenvolvimento sustentável e a justiça socioambiental.

Em conclusão, a evolução das metodologias de mapeamento de solos não deve ser vista como uma substituição do tradicional pelo digital, mas como uma oportunidade para combinar o melhor de ambos os mundos. A união das abordagens permite aproveitar as vantagens tecnológicas do MDS sem abrir mão da riqueza interpretativa e da compreensão profunda que

o método tradicional proporciona. Assim, a geografia reafirma seu compromisso com uma análise espacial crítica e integrada, essencial para enfrentar os desafios contemporâneos de gestão do território.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, Cláudia Sabóia; VALLADARES, Gustavo Souza Valladares Souza. **Geografia, Geotecnologias E Planejamento Ambiental. Geografia** (Londrina), [S. l.], v. 22, n. 1, p. 117–138, 2014. DOI: 10.5433/2447-1747.2013v22n1p117. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/14457>. Acesso em: 03 ago. 2024.
- BAZAGLIA FILHO, Osmar. **Comparação entre mapas de solos obtidos pelos métodos convencional e digital numa área complexa**. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.
- CARVALHO JUNIOR, W. de; et al. **Mapeamento Digital de Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2014.
- COSGROVE, Denis E. **Social Formation and Symbolic Landscape**. 1. ed. Madison: University of Wisconsin Press, 1984.
- DEMATTE, J.A.M.; GENÚ, A.M.; FIORIO, P.R.; ORTIZ, J.L.; MAZZA, J.A.; LEONARDO, H.C.L. **Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional**. *Pesq. agropec. bras.*, v.39, n.12, p.1219-1229, 2004.
- DEMATTE, J.A.M.; MORETI, D.; VASCONCELOS, A.C.F.de, GENÚ, A.M. **Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista**. *Pesq. agropec. bras.*,v.40, n.7, p.697-706, 2005.
- FLACH, C. W.; CORRÊA, E. A. **Levantamento De Solos No Brasil: Métodos, Práticas E Dificuldades**. *Geographia Meridionalis*, v. 3, n. 3, p. 420-431, 9 jan. 2018.
- CATEN, A. T. **Mapeamento Digital de Solos: Metodologias para Atender a Demanda por Informações Espaciais**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- EMBRAPA. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011.
- EMBRAPA. **Manual de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013.
- EMBRAPA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação-SPI, 1995.
- FAO. **World Reference Base for Soil Resources 2006: A Framework for International Classification, Correlation, and Communication**. Roma: FAO, 2006.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

- GEORGE, P. **A geografia ativa**. Lisboa: Cosmos, 1964.
- HARVEY, D. **A Produção Capitalista do Espaço**. São Paulo: Annablume, 2005.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- LA BLACHE, Paul Vidal de. **Princípios de Geografia Humana**. Tradução de Orlando de Carvalho. Lisboa: Livraria Sá da Costa Editora, 1954.
- LACOSTE, Y. **A Geografia – isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra**. Tradução de Maria Cecília França. São Paulo: Papirus, 1988.
- LEFEBVRE, H. **A Produção do Espaço**. Tradução de Doralice Barros Pereira. 5. ed. São Paulo: Editora UFMG, 2013.
- LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330369>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- MELLO, C. R.; OLIVEIRA, S. R. M. **Geotecnologias e Aplicações Ambientais**. Lavras: Editora UFLA, 2016.
- MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. **O papel do geoprocessamento nos levantamentos de solos no Brasil**. Boletim de Ciência do Solo, v. 30, n. 6, p. 961-971, 2006.
- SANTOS, H. G.; et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.
- SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1988.
- SILVA, J. P.; VERBICARO, T. G. **A Cartografia Social e o Mapeamento Participativo na Análise do Espaço Geográfico**. Revista Professor UFRGS, 2016.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil survey manual**. Washington, D.C.: USDA, 1993.
- VÁCLAVÍK, Tomáš; SCHMIDT, Matthias; SGRENZAROLI, Mario; LAMOUREUX, Sébastien. **Mapping global land system archetypes**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. *Global Environmental Change*, v. 23, n. 6, p. 1637-1647.