



Mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando dados do MapBiomias: uma abordagem manual para aumento de precisão aplicada em Meridiano, São Paulo

Renata Lucon Xavier¹, Denise Balestrero Menezes², Fábio Leandro da Silva³

¹Doutoranda em Engenharia Urbana no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís, s/n, Monjolinho, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. (16) 3351-8295. renataluconxavier@gmail.com (autora correspondente). ²Professora Dra. do Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís, s/n, Monjolinho, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. (16) 3351-8295. denisebm@ufscar.br. ³Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís, s/n, Monjolinho, CEP 13565-905, São Carlos, São Paulo. (16) 3351-8295. fabioleandro@alumni.usp.br.

Artigo recebido em 07/08/2023 e aceito em 09/03/2024

RESUMO

O processamento automatizado dos dados da plataforma MapBiomias tem sido amplamente utilizado para o mapeamento do uso e cobertura do solo. No entanto, podem ocorrer confusões devido à escala temporal e à diversificação das atividades de ocupação. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo apresentar uma abordagem manual para aumentar a precisão das classes de uso e cobertura do solo no município de Meridiano. A abordagem adotada consistiu na correção e inserção de novas camadas utilizando imagens dos satélites Google Earth Pro e RapidEye, que foram posteriormente verificadas por validação terrestre. Os resultados revelaram melhorias, especialmente na classificação de áreas inicialmente identificadas como mosaico de agricultura e pastagem, que totalizavam 4.907 hectares. Após as correções, essas áreas foram distribuídas entre as culturas de cana-de-açúcar, citrus e vegetações campestres. Além disso, houve um aumento importante na classe de silvicultura, que anteriormente havia sido confundida com formações florestais devido à predominância de heveicultura já de porte alto. A precisão obtida na caracterização do uso e ocupação do solo forneceu informações valiosas sobre a utilização da terra e as atividades econômicas predominantes, contribuindo para a compreensão e monitoramento das mudanças ambientais. Embora a metodologia tenha se mostrado adequada e de fácil aplicação, é importante ressaltar que pode ser limitada quando aplicada a áreas maiores devido à necessidade de procedimentos manuais extensos e detalhados. Por fim, destaca-se a relevância da utilização da Coleção 6 do MapBiomias neste estudo, que proporcionou uma base consistente e atualizada para o mapeamento do uso e cobertura do solo.

Palavras-chave: Classificação automática, confusão de classe, planejamento, conservação.

Land use and land cover mapping using MapBiomias data: A manual approach for improved accuracy applied in Meridiano, São Paulo

ABSTRACT

Automated processing of MapBiomias platform data has been widely used for mapping land use and land cover. However, confusion can arise due to temporal scale and the diversification of land use activities. In this context, the aim of this study was to present a manual approach to enhance the accuracy of land use and land cover classes in the municipality of Meridiano. The adopted approach involved correction and inclusion of new layers using images from Google Earth Pro and RapidEye satellites, which were subsequently validated through ground truthing. The results showed improvements, particularly in the classification of areas initially identified as a mosaic of agriculture and pasture, amounting to 4,907 hectares. After the corrections, these areas were delineated into sugarcane, citrus, and grassland. Additionally, there was a notable increase in the forestry class, previously confused with forest formations due to the predominance of mature rubber plantations. The precision achieved in characterizing land use and occupation provided valuable insights into land utilization and predominant economic activities, contributing to the understanding and monitoring of environmental changes. While the methodology proved to be suitable and easily applicable, it is important to note that it may be limited in larger areas due to the need for extensive and detailed manual procedures. Lastly, the significance of utilizing Collection 6 of MapBiomias in this study is highlighted, as it provided a consistent and up-to-date basis for land use and land cover mapping.

Keywords: Automated classification, class confusion, planning, conservation.

Introdução

A transformação da paisagem pelo ser humano vem causando mudanças distintas e cada vez mais rápidas nos ecossistemas naturais, exigindo a implementação de estratégias para manter a diversidade biológica e conservar os bens e serviços essenciais à humanidade que são sugeridos para o enfrentamento das mudanças climáticas e a continuidade das atividades econômicas (Nguyen et al., 2023; Wang et al., 2023). A sustentabilidade dos sistemas terrestres depende da adoção de estratégias adequadas de manejo, pois estes são responsáveis pela provisão de benefícios para toda a sociedade; porém o processo de antropização está contribuindo para a extensão dos ecossistemas (Zhao et al., 2023). Como suporte à gestão, iniciativas e inovações em geotecnologias têm sido desenvolvidas para o monitoramento e mapeamento da dinâmica do uso e cobertura do solo (Shimabukuro et al., 2022) em unidades administrativas e de planejamento, auxiliando na tomada de decisão e no desenho de alternativas.

Um estudo recente (Zhang et al., 2023) envolvendo os padrões de uso do solo em nível global, entre os anos de 2020 e 2100, fornece que os cenários futuros encontrados apontam para o aumento das áreas cultivadas em biomas brasileiros (ou seja, Cerrado e Amazônia) devido a políticas de desenvolvimento, exigindo estratégias para atuar sobre os vetores de mudanças.

O entendimento dos processos que ocorrem na paisagem, incluindo as mudanças dos usos ao longo do tempo, permite compreender os cenários e a influência negativa da expansão da infraestrutura, o desmatamento e práticas ligadas ao primeiro setor da economia (Quevedo et al., 2023). Sendo assim, a identificação dos padrões de uso do solo por meio de técnicas de mapeamento auxilia na verificação dos impactos antrópicos na paisagem, possibilitando a formulação de diretrizes, no planejamento ambiental e na análise de cenários futuros que afetam a sustentabilidade dos sistemas ambientais

(Liang et al., 2021). Diversas técnicas e métodos têm sido desenvolvidos para produzir mapas precisos e atualizados, incluindo o uso de sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e outras geotecnologias disponíveis, como por exemplo os Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT e a Detecção e Varredura a Laser - LiDAR (Yin et al., 2024).

Na literatura, são encontrados alguns métodos para o mapeamento de usos do solo: a elaboração

manual com base em sensoriamento remoto e composição falsa de imagens de satélite para digitalização (Silva et al., 2022b); a utilização de redes neurais convolucionais (Ali e Johson, 2022); o trabalho da plataforma Google Earth Engine (GEE) e algoritmos como o Random Forest específicos para o machine learning (Kadri et al., 2023), entre outros. Tratando-se do último método, nota-se a sua grande aplicabilidade para o mapeamento de grandes áreas, dada a sua técnica robusta. Seu uso tem sido crescente nos últimos anos para o gerenciamento de dados de satélites voltados para aplicações globais e de fácil replicação; entretanto, existe uma necessidade de expansão do conhecimento sobre a aplicabilidade da ferramenta nos países em processo de desenvolvimento (Velastegui-Montoya et al., 2023).

O GEE é uma plataforma em nuvem que oferece recursos de processamento de um grande volume de dados geoespaciais, reduzindo custos e eliminando a necessidade de pré-processamento e licenciamento de espaço em disco (Gorelik et al., 2017, Google Earth Engine, 2023). A plataforma oferece um amplo acervo de imagens de satélite (por exemplo, imagens Sentinel 1, Sentinel 2, Modis, Landsat), possibilitando a análise de extensas séries temporais, padrões de uso do solo, avaliação de ecossistemas, monitoramento ambiental, agronegócio, e estudos sobre mudanças climáticas, em escalas distintas (Google Earth Engine, 2023; Pham-Duc et al., 2023).

Um bom exemplo da aplicabilidade da plataforma GEE para grandes recortes é o trabalho desenvolvido pela equipe do MapBiomass. Este projeto brasileiro de mapeamento anual da cobertura do solo do país tem trabalhado no desenvolvimento de diversas abordagens para monitorar o uso e a cobertura do solo por meio de técnicas de sensoriamento remoto e inteligência artificial, aplicadas com o auxílio do GEE (MapBiomass, 2023).

O MapBiomass é uma das fontes mais utilizadas para análises de uso e cobertura do solo no Brasil e seus dados apresentados para a realização de análises e o direcionamento de políticas públicas, como o combate ao desmatamento e a situação dos biomas brasileiros.

Sua criação se deu por uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é formado por meio de uma rede colaborativa de co-criadores constituída de Organizações Não

Governamentais (ONGs), universidades e empresas de tecnologia organizadas por biomas e temas transversais (MapBiomas, 2023). A disponibilidade de bases de dados contribui para a realização tanto de avaliações e operações externas a aspectos ambientais como de modelagens (Karoff e Vara-Vela, 2023), subsidiando uma tomada de decisão através de pesquisas.

Pesquisas recentes utilizaram dados do MapBiomas para conduzir diversos estudos ambientais: análises temporais do uso do solo em regiões brasileiras, traçar a evolução de culturas agrícolas (Baeza et al., 2022, Mendes e Costa, 2022, Silva et al., 2022c), análise da superfície da água e redução do fluxo de corpos hídricos em uma bacia hidrográfica inserida no bioma Cerrado (Teixeira et al., 2024), mapeamento das áreas queimadas no Pantanal durante a seca de 2020 (Shimabukuro et al., 2023b), impactos no ciclo de energia e fluxo de água e em propriedades físicas da mesma (Neto et al., 2022, Santos et al., 2022), bem como para avaliação da biodiversidade (Cintra et al., 2023, Kiataqui et al., 2022), emissões de carbono (Garofalo et al., 2022, Morais et al., 2022) e a análise de formações vegetais (Utsumi et al., 2023). Além disso, há também muitas pesquisas direcionadas ao desmatamento e queimadas no bioma Amazônia (Mataveli et al., 2021, Rosan et al., 2022, Silva et al., 2022a), incluindo a determinação da intensidade da conversão da formação vegetal em outros usos do solo ao longo do tempo (Vasconcelos et al., 2024).

Os dados da plataforma são gerados por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning), que realizam uma classificação automática de uso e cobertura do solo em imagens do satélite Landsat, com resolução espacial de 30 metros por pixel. Para essa classificação são utilizadas diferentes bandas espectrais, que resultam no agrupamento de pixels semelhantes (MapBiomas, 2023). No entanto, apesar dos dados gerados pela classificação apresentarem uma alta precisão, é preciso salientar que confusões de classes acabam ocorrendo em função de diferentes fatores, como a associação incorreta de pixels às classes de uso do solo e alta proporção de amostras não possuem corretamente (Viana et al., 2023), que demandam de muitas amostras de precisão ou mesmo de conhecimento de campo para sua eficácia separação e compreensão da área de interesse.

Louzada et al. (2023), ao realizarem um inventário de voçorocas em bacia hidrográfica inserida no Pantanal, verificaram que amostras não foram inseridas corretamente por meio do GEE, já

que áreas com processos erosivos ativos foram seleções como pastagem, o que levou os autores a recomendarem a revisão dos mapas de uso da terra do Mapbiomas para aumentar a precisão e subsidiar a tomada de decisão.

Utsumi et al. (2023), ao realizarem a classificação dos usos do solo utilizando imagens Sentinel-2 no GEE para o município de Uberaba (MG) e compararem com o mapeamento do MapBiomas, atribuíram as diferenças observadas ao limite de detecção, visto que o projeto Mapbiomas detecta formações vegetais com área superior a 0,5 hectares (ha) em razão de seu filtro no algoritmo de processamento e a imagem utilizada no estudo possui melhor resolução.

Baeza et al. (2022) utilizaram amostras complementares aos dados MapBiomas obtidas a partir dos mosaicos Landsat para garantir maior precisão de classificação. Os autores citam equívocos de algumas classes como por exemplo, pastagens úmidas de várzea classificadas como áreas agrícolas ou a confusão entre plantações florestais e vegetação nativa lenhosa em áreas montanhosas.

Ainda neste contexto, Cima et al. (2023) ressaltam que formações vegetais com características distintas e variações em sua fisionomia, como o caso do bioma Cerrado, podem implicar na classificação errônea dos pixels, onde a vegetação nativa acaba sendo definida em áreas degradadas ou outros tipos de uso do solo. Deste modo, é necessária a adoção de métodos e estratégias que contribuam para a melhoria dos resultados de classificações supervisionadas, já que a classificação dos usos pode não representar o que ocorre na área de interesse, exigindo alternativas para refinamento e melhor delimitação.

Shimabukuro et al. (2023a) realizaram o levantamento dos usos e cobertura do solo do Estado de São Paulo (2020) e compararam com os produtos do MapBiomas; destacaram que obtiveram melhores resultados do que o projeto nos seguintes aspectos: (i) menor omissão das áreas de pastagem e (ii) menor erro nas classes agrícolas. Os autores atribuíram tais diferenças ao algoritmo de classificação, as variáveis de treinamento empregadas no processo de classificação e o próprio método utilizado para a determinação dos usos da terra na unidade avaliada.

Em uma escala regional, as áreas mapeadas tendem a ser maiores e mais homogêneas em termos de características de usos do solo. Isso significa que as confusões de classes podem não ter um impacto significativo na interpretação geral do uso e ocupação da paisagem. No entanto, o impacto

pode ser maior em escalas municipais nas quais as confusões de classes podem resultar em distorções e erros na representação do uso e ocupação do solo, exigindo um maior aprimoramento e precisão dos dados; isto evita que esses erros afetem as análises locais, pois é comum que as cidades demandem mapas mais detalhados e precisos para subsidiar o planejamento urbano, a gestão ambiental e outras tomadas de decisão voltadas para o tecido urbano, áreas destinadas ao desenvolvimento agropecuário e a conservação do capital natural.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia adaptada para aumentar a precisão das classificações do MapBiomias em Meridiano, um pequeno município do noroeste paulista. Isso foi realizado por meio da correção manual dos polígonos classificados erroneamente (Koga et al., 2019) e pela inserção de novas camadas, utilizando imagens de satélite e visitas de campo. O intuito foi demonstrar como a confusão de classes pode impactar um mapeamento em uma escala maior e ressaltar a importância de garantir maior precisão dos dados, a fim de subsidiar as decisões das autoridades públicas no planejamento urbano, tendo como partida os valiosos e atuais mapas automatizados do MapBiomias. O mapa final de uso e ocupação do solo foi utilizado em uma pesquisa de mestrado sobre a geodiversidade da área, visando identificar os impactos das atividades econômicas nos elementos de geodiversidade e nos recursos hídricos locais (Xavier, 2023).

Embora a classificação automática seja um método eficiente para processar grandes volumes de dados, ocasionalmente podem ocorrer problemas semelhantes aos mencionados anteriormente, o que também foi verificado em testes realizados para a mesma área estudada. Nessas situações, a abordagem manual se torna necessária para garantir uma maior precisão nos resultados em pequenas escalas, o que motivou a realização desta pesquisa. Além disso, os dados do MapBiomias são produzidos através de um processo sistemático, considerando diversas áreas de amostragem, o que garante uma acurácia global satisfatória devido ao treinamento dos pixels. A capacidade de analisar visualmente as áreas problemáticas, considerar informações adicionais aos dados MapBiomias, como imagens de alta resolução ou dados de campo, e realizar ajustes refinados nas classes auxilia na eliminação de eventuais confusões, resultando em uma melhoria na qualidade dos resultados.

Deste modo, acredita-se que a adoção de uma abordagem manual melhorou os resultados obtidos em mapeamentos, garantindo maiores precisão e eliminando eventuais confusões que possam ter ocorrido pelo algoritmo do projeto MapBiomias. Os resultados podem trazer contribuições para áreas menores (por exemplo, microbacias hidrográficas, municípios, unidades de conservação), auxiliando no planejamento local e na tomada de decisão.

Material e métodos

Área de estudo

Meridiano, município do interior do estado de São Paulo integra a mesorregião de São José do Rio Preto, cidade da qual dista 107,5 km (Figura 1). Seu ponto central situa-se a uma latitude 20°21'33" Sul e longitude 50°10'24" Oeste, com altitude da área urbana entre 500 m e 520 m. Possui uma área de aproximadamente 228,2 km² (IBGE, 2022), com uma população residente de 3.855 pessoas no último censo (IBGE, 2012), sendo 2.674 pertencentes à área urbana e 1.181 à área rural. A estimativa para o ano de 2021 foi de 3.813 habitantes (IBGE, 2022).

A área de estudo está inserida no Bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2022) e possui clima tropical do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, o qual é marcado por invernos secos e verões chuvosos e quentes (Meridiano, 2018).

O município possui um distrito denominado Santo Antônio do Viradouro e limita-se territorialmente com outros quatro municípios: Fernandópolis, Pedranópolis, Valentim Gentil e São João de Iracema.

Etapas metodológicas

Para caracterização do uso do solo, utilizou-se mapas de Cobertura e Uso do Solo de todo o Brasil da Coleção 6 do MapBiomias (2021). As imagens foram baixadas e classificadas no software livre QGis (versão 3.16.6) de acordo com a paleta de cores RGB disponibilizada pela plataforma. De acordo com a descrição dos níveis de classe feita pelo Projeto MapBiomias (2021), a formação florestal do bioma Mata Atlântica corresponde a vegetação arbórea densa e os campos úmidos são as áreas de vegetação com influência fluvial e/ou lacustre. Na agropecuária, as áreas de pastagem são predominantemente classificadas como formação campestre que podem ou não ser pastejadas. Os cultivos da lavoura de cana-de-açúcar e de citrus delimitam as áreas de agricultura no município.

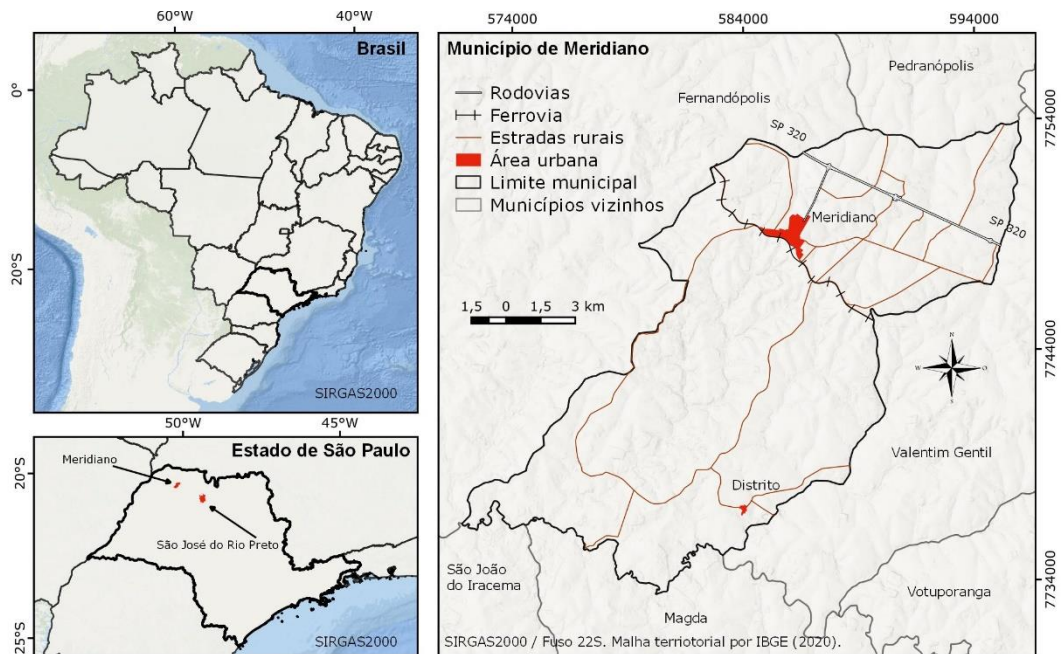


Figura 1. Localização de Meridiano no Estado de São Paulo e municípios confrontantes.

Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais são classificadas como mosaico de silvicultura e o denominado mosaico de agricultura e pastagem engloba todas as áreas de uso agropecuário nas quais não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura (Projeto Mapbiomas, 2021). Com as informações preparadas, foram aplicadas as etapas metodológicas apresentadas na Figura 2.

O primeiro passo foi a revisão dos dados, onde foram identificadas possíveis confusões nas classes de uso e cobertura do solo. A partir da análise feita nas classes de uso do solo constatamos que erros acabaram sendo incorporados aos dados devido ao procedimento automático para geração dos mapas, como a mescla de dados de silvicultura com formação florestal, área da usina classificada como urbana e também grande extensão do mosaico de agricultura e pastagem; para a finalidade esperada nesta pesquisa estas incorreções são evidentes no resultado.

Posteriormente, foi considerada a criação de novas classes de uso para aumentar o nível de detalhamento do mapa. Essas áreas foram denominadas de “outros usos”, com as subclasses: aterro, Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), usina, lixão, dentre outros.

Com imagens de satélite do *Google Earth Pro* (versão 7.3) e *RapidEye*, resolução 5 m, (Planet, 2023), datadas de março de 2022, foi criado um mapa de referência para aumentar a precisão das áreas que precisavam de alterações e para nortear os traçados, os quais se iniciaram na etapa de correção manual. A fase de correção consistiu propriamente na alteração de classes (Koga et al., 2019) e também na delimitação de novos traçados, como explicado posteriormente. O raster do Projeto MapBiomas (2021) foi transformado em vetor para facilitar o traçado nos vértices.

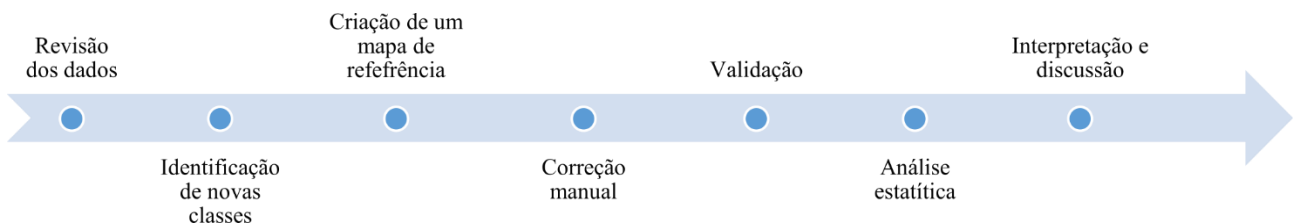


Figura 2. Passo a passo metodológico.

Para traçar essas camadas adotou-se um padrão baseado nas características predominantes da área no dado original. Áreas classificadas

originalmente como campo úmido, por exemplo, possuem uma vegetação rasteira de coloração mais escura causada pela umidade nos vales, assim,

todas as áreas com essas características, mas sem classificação (mosaico de agricultura e pastagem) ou com classificação equivocada, foram preenchidas (Figura 3).

Outra observação importante durante o traçado foi quanto ao padrão de plantio de seringueira (Figura 4), que possui copas mais densas e homogêneas, dispostas em linhas, diferente da formação florestal, com copas de diversos tamanhos, dispostas de forma menos homogênea e aleatória. Além disso, algumas áreas com essa cultura em crescimento, ou seja, com plantio recente, estavam classificadas como vegetação de pastagem. Pelas imagens e pelos

conhecimentos dos autores, foi possível distinguir essas classes (Figura 4).

Propriedades rurais foram inseridas na classificação de outras áreas não vegetadas. Áreas como estradas, carreadores e linhas de transmissão, por serem relativamente pequenas, foram cobertas pela classe predominante próxima (e.g. cana-de-açúcar, pastagem, etc.), como visto na Figura 3.

As áreas com pixels bem delimitados sobre o real uso do solo, como na Figura 3, foram aproveitadas no traçado, já as áreas maiores, sem delimitação precisa, exigiram um traçado linear de contorno (Figura 4C).



Figura 3. (A) Área de mosaico identificada, (B) interpretação das imagens de satélite e visualização de uma APP, (C) reclassificação da APP.



Figura 4. (A) Formação florestal identificada (2021), (B) interpretação das imagens de satélite e visualização do plantio de seringueira, (C) reclassificação da área de plantio de seringueira a partir dos pixels existentes e de traçados lineares.

Depois de concluir a correção manual, foi gerado o mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo e os dados foram validados por meio da verdade terrestre; houve a visita de 96 pontos distribuídos em uma área de 228,2 km² e observação dos percursos entre pontos (aproximadamente 92 km percorridos com observações ao longo do trajeto). Posteriormente, realizou-se uma análise e interpretação das correções em comparação com as informações originais, onde foram apontadas as maiores modificações e relatados os tipos de mudanças realizadas.

Por último, os dados brutos foram organizados em uma tabela com três colunas: a primeira continha as classes originalmente mapeadas pelo MapBiomas, a segunda classes que foram refinadas e verificadas em campo, e a terceira continha o ID de cada ponto visitado.

Com isso, a tabela foi importada para o software jamovi; uma ferramenta estatística de código aberto projetada para simplificar e tornar acessível a análise de dados (The jamovi project, 2022). No software, foi utilizado o módulo MedDecide para cálculo do coeficiente Kappa, que avalia a concordância entre dois avaliadores: as

classificações atribuídas pelo MapBiomias e as obtidas por refinamento e visitas de campo.

O coeficiente Kappa de Cohen é aplicável apenas a estudos completamente cruzados com exatamente dois avaliadores e leva em consideração a concordância esperada pelo acaso, variável que não é refletida pela mera concordância percentual (Cohen, 1960). Cohen propôs que o valor Kappa fosse interpretado da seguinte forma: (i) $k \leq 0$ indica falta de concordância; (ii) 0,01-0,20 como nenhuma a leve concordância; (iii) 0,21-0,40 como um compromisso razoável; (iv) 0,41-0,60 como concordância moderada; (v) 0,61-0,80 como concordância substancial; (vi) 0,81-1,00 como concordância quase perfeita (Cohen, 1960). Assim, quanto mais próximo o valor Kappa estiver de 1, maior será a concordância entre as classificações, o que sugere maior precisão e confiabilidade dos resultados. Por outro lado, valores próximos de 0 indicam falta de concordância ou concordância abaixo do acaso, o que significa que as classificações não são consistentes. O valor obtido foi analisado de acordo com as faixas apresentadas.

O módulo MedDecide também forneceu outros parâmetros que foram interpretados, como concordância entre avaliadores e valor de p. O valor p é uma medida de probabilidade que indica a probabilidade de obter um resultado tão ou mais extremo do que o encontrado na análise estatística. Geralmente, utiliza-se um valor de corte de 0,05 para decidir se a hipótese de que não há diferença real entre os grupos comparados é rejeitada ou não. Se o valor p for inferior a 0,05 considera-se diferença significativa (Ferreira; Patino, 2015). Portanto, um valor de p menor que 0,05 indica uma diferença estatisticamente significativa, enquanto que se o valor de p for maior que 0,05 não é possível ter certeza se a diferença é real ou apenas devida ao acaso.

É importante destacar que as novas classes identificadas, denominadas “outros usos”, foram excluídas dos cálculos estatísticos. Isto se deve ao fato de suas áreas serem insignificantes, não tendo impacto significativo nos resultados. Essas áreas foram, portanto, destinadas exclusivamente a compor o mapa e facilitar a localização dessas áreas aos interessados, visando melhorar a gestão e a tomada de decisões. Além disso, esta exclusão garantiu que a integridade dos resultados estatísticos fosse mantida na comparação das classes original e refinada.

Após a realização do procedimento metodológico, os resultados foram comunicados

por meio de mapas, gráficos, tabelas e narrativas descritivas.

Resultados e discussão

A Figura 5 apresenta as classes modificadas do mapa de uso e ocupação do solo do município, fornecidas pelo Projeto MapBiomias (2021), após os procedimentos descritos na metodologia. Nesse processo, todas as áreas de cultura não identificada (mosaico de agricultura e pastagem) foram preenchidas, e outros usos de solo foram adicionados, como aterro, ETE, área de construção do distrito industrial, granja, lixão, pátio de compostagem, pedra desativada, pesqueiro, posto de combustível, usina, depósito de resíduos da construção civil (RCC) e ranchos.

A utilização dos dados do MapBiomias em avaliações dos usos da terra em municípios tem demonstrado ser útil, pois os dados geoespaciais possibilitam a compreensão das atividades desenvolvidas e os usos do solo podem ser reclassificados para a produção de informações de qualidade (Lima e Vieira, 2024).

Observa-se que as maiores áreas de uso no município são ocupadas pela pastagem e pelo cultivo de cana-de-açúcar. Segundo a série histórica do Projeto MapBiomias (2021), em Meridiano o plantio de cana-de-açúcar aumentou a partir de 2007, crescendo gradualmente, enquanto a área de pastagem diminuiu na mesma proporção. Esse aumento no cultivo de cana-de-açúcar está relacionado ao início das obras da usina sucroalcooleira no município, que substituiu os campos de pastagem para o cultivo dessa cultura temporária. Sabe-se que, no Estado de São Paulo, está ocorrendo um crescente aumento das áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar, situação decorrente do ciclo econômico e políticas públicas (Baccarin, 2024).

A análise dos dados revelou modificações consideráveis na área ocupada pelas diferentes classes de uso do solo após a aplicação da metodologia proposta (gráficos da Figura 5). Essas alterações podem ser atribuídas às interpretações mais acuradas durante o processo de classificação, levando em consideração características específicas das coberturas vegetais e outras informações relevantes. Destaca-se que a realização da verdade terrestre (i.e. visita de campo) contribui para sanar dúvidas e constatar os usos do solo existente em uma dada região, sendo uma etapa necessária para o aumento da precisão.

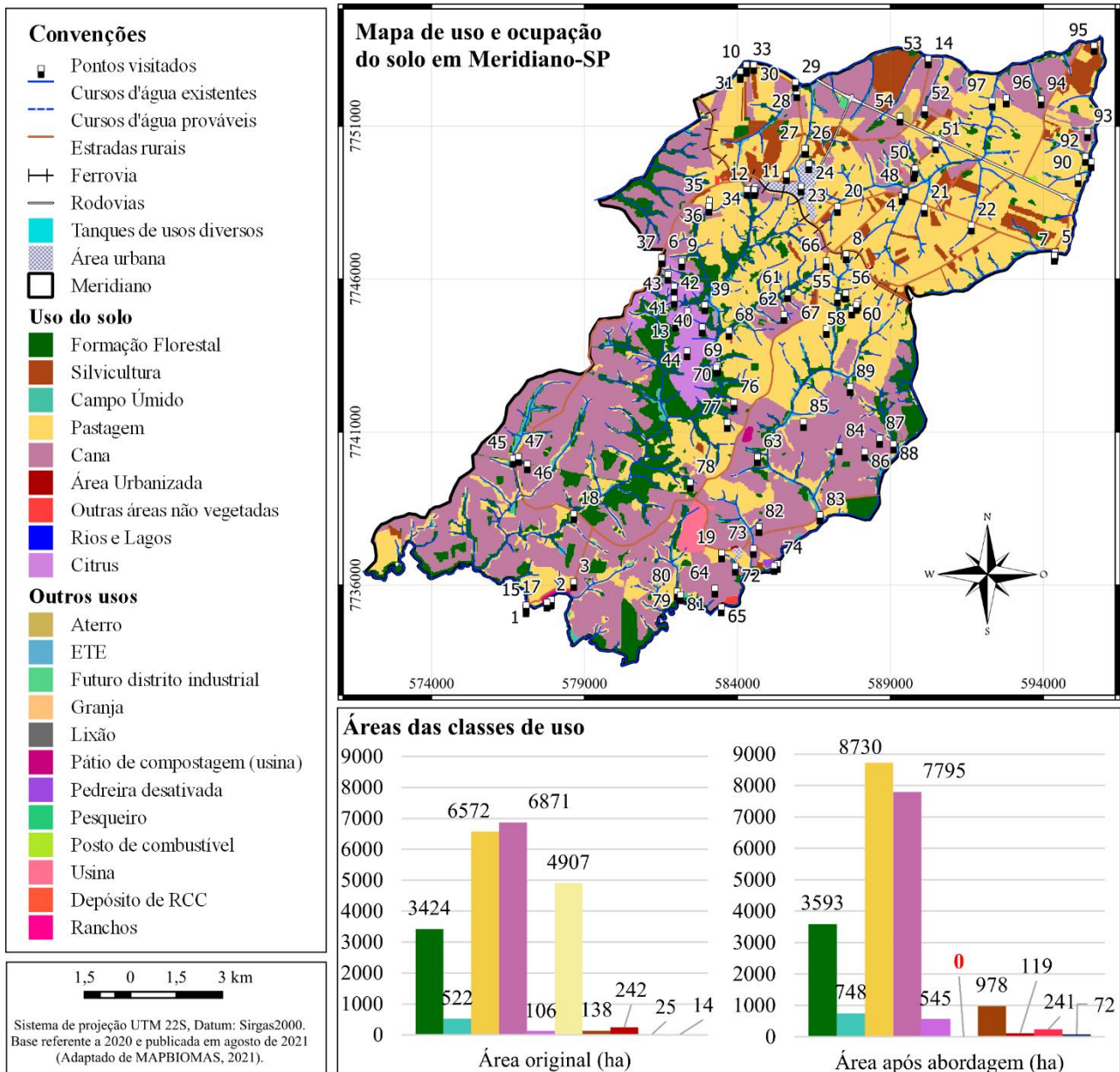


Figura 5. Uso do solo em Meridiano-SP e respectivas áreas das classes. Nota: Cursos d'água atualizados por Xavier e Menezes (2023) como subproduto da pesquisa de mestrado aqui mencionada.

Antes da aplicação da metodologia, a área ocupada pela formação florestal era de 3.424 ha, e após a aplicação houve um aumento para 3.593 ha. Esse acréscimo pode ser explicado pela identificação correta de áreas anteriormente classificadas de forma equivocada ou como partes de mosaicos, mas que apresentavam vegetação característica da formação florestal. Na literatura já é conhecido que a elaboração dos usos do solo por processos baseados em aprendizado de máquina pode resultar na associação incorreta de pixels em tipologias ocupacionais, a classificação incorreta de amostras e confusão entre classes de uso do solo; o que exige a revisão dos produtos do MapBiomias para promover uma melhoria na precisão dos dados

e melhor refinamento (Baeza et al., 2022, Cima et al., 2023, Louzada et al., 2023, Viana et al., 2023).

É importante ressaltar que, durante o processo de mapeamento, observou-se que a formação florestal possui copas de diversos tamanhos, dispostas de forma aleatória e menos homogênea, em contraste com o padrão de plantio de seringueira, por exemplo, que apresenta copas mais densas e homogêneas dispostas em linhas. Por isso, também foram ajustadas áreas com plantio seringueira que estavam como formação florestal, ou as de plantio recente que estavam erroneamente classificadas como vegetação de pastagem, passando de 138 ha para 978 ha.

A classe de campo alagado também apresentou um aumento na área ocupada, passando de 522 ha para 748 ha. Essa modificação se deve ao preenchimento de áreas com características de campo úmido que estavam anteriormente classificadas como mosaico de agricultura e pastagem, que é um ponto novamente citado por Baeza et al. (2022).

A área de pastagem teve um considerável aumento de 6.572 ha para 8.730 ha, atribuído à identificação correta de áreas que anteriormente estavam classificadas de forma equivocada ou estavam embutidas na grande área ocupada pelo mosaico. O mesmo ocorreu na classe de cana, passando de 6871 ha para 7.795 ha.

Em paralelo com o aumento da lavoura temporária, houve também aumento da lavoura perene. A classe de citrus apresentou um aumento de 106 ha para 545 ha.

Em uma análise dos usos do solo do Estado de São Paulo, ao compararem o mapeamento realizado com o levantamento do MapBiomias, Shimabukuro et al. (2023a) verificaram que no Mapbiomas pode ocorrer a omissão de áreas destinadas a pecuária e a classificação errônea de tipologias agrícolas.

Com tais ajustes, a classe de mosaico foi eliminada após a aplicação da metodologia, indicando uma correção efetiva das áreas classificadas de forma equivocada ou sem classificação. Essa eliminação é consistente com a identificação correta de áreas específicas, como a cana, a pastagem, os campos alagados e outras áreas não vegetadas. Áreas como estradas, carreadores e linhas de transmissão, que são relativamente pequenas em escala, foram consideradas parte da classe predominante mais próxima, contribuindo para o aumento observado nas classes mencionadas e diminuindo a área de mosaico.

As outras áreas não vegetadas (i.e. superfícies não permeáveis e não mapeadas em suas classes) apresentaram um aumento de 25 ha para 241 ha, o que pode ser explicado pela inclusão de propriedades rurais nessa classificação. A classe de infraestrutura urbana teve uma redução de 242 ha para 119 ha devido à reclassificação da área da usina, que teve sua extensão confundida por área urbana.

Por fim, a classe de corpos d'água apresentou um aumento de 14 ha para 72 ha, indicando uma detecção mais precisa de grandes rios e lagoas, que desempenham um papel importante na análise da dinâmica hídrica e na gestão dos recursos hídricos.

As áreas das novas classes de usos (outros usos) não foram contabilizadas para manter a compatibilização dos dados estatísticos apresentados. Devido a pequena proporção, esses polígonos foram apenas sobrepostos ao mapeamento para um maior conhecimento desses locais, não interferindo no cálculo de área das outras classes.

As modificações nos dados de área ocupada pelas classes de uso do solo apresentadas refletem uma maior acurácia e consistência na classificação, levando em conta características específicas das coberturas vegetais e ocupações. A correção de classificações equivocadas contribuiu para a obtenção de resultados mais confiáveis, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões em relação ao manejo do solo, planejamento territorial e conservação ambiental. As visitas a campo possibilitaram validar os resultados obtidos. O trabalho de campo também foi feito para subsidiar uma pesquisa sobre a geodiversidade e os impactos nos recursos hídricos (Xavier, 2023). A iniciativa do MapBiomias é necessária para o monitoramento e avaliações espaço-temporais da ocupação da paisagem. Entretanto, as abordagens são uma possibilidade para a realização de refinamento, como o exemplo do emprego de programas de modelagem (Ramos et al., 2023) ou como no caso do presente estudo, uma abordagem manual.

O ponto 54, por exemplo, corresponde à área do aterro sanitário localizado no município (Figura 6A). De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (CETESB, 2020), o aterro atende também outros municípios da região. No entanto, apesar de possuir uma destinação adequada para a disposição de resíduos, Meridiano ainda possui um lixão a céu aberto (ponto 34), onde foram encontrados diversos tipos de materiais descartados, como equipamentos eletrônicos, móveis, lixo orgânico e resíduo de poda de árvores, entre outros. Durante a visita, constatou-se a queima de resíduos de poda (Figura 6B). Na classificação automática, o aterro sanitário aparecia como outra área não vegetada e o lixão como mosaico de agricultura e pastagem. Assim, as classes de uso correspondente foram modificadas e inseridas para a correta representação.

A área de cultivo de citrus (Figura 7A) foi expandida com o plantio de 10.000 mudas adicionais às identificadas pelo Projeto MapBiomias (2021). Na classificação automática, este local aparecia como cultura de cana-de-açúcar, sendo modificada para a classe correspondente.

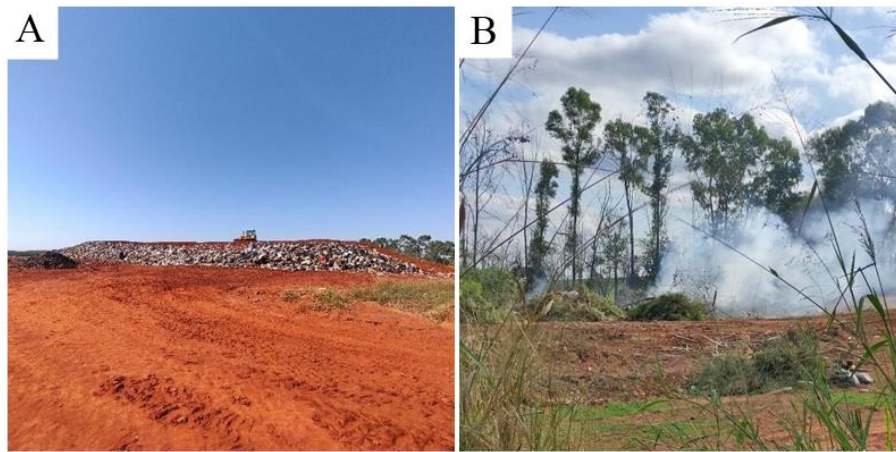


Figura 6. Aterro localizado em Meridiano (A) e lixão a céu aberto (B).

Devido à extensão dessa área, um grande volume de água é utilizado para irrigação, proveniente de um poço profundo no ponto 13. Além desse poço, um tanque (Figura 7B) é

responsável por bombear água para áreas mais distantes, onde as mudas estão localizadas. O tanque estava classificado como mosaico de agricultura e pastagem.



Figura 7. Área de mudas de citrus (A) e tanque de irrigação (B).

Desse modo, o mapa de uso e ocupação do solo desempenha um papel fundamental na gestão do município, permitindo a identificação de áreas prioritárias para investimentos e proteção ambiental. Por exemplo, a área do lixão requer maior atenção das autoridades públicas para o controle da poluição e possíveis contaminações do solo. O cultivo de citrus e a cultura de cana-de-açúcar, que demandam intensa irrigação, precisam ser monitorados para evitar impactos negativos na quantidade e qualidade dos recursos hídricos locais, devido à exploração indiscriminada e ao uso excessivo de agrotóxicos.

Além disso, o mapa possibilita o monitoramento da dinâmica de expansão urbana, subsidiando a identificação de infraestruturas que

necessitam de melhorias. Assim, é possível evitar conflitos de interesse e garantir uma melhor qualidade de vida para os habitantes e para o meio físico do município.

A concordância entre as classes mapeadas pelo MapBiomias e as classes verificadas em campo, conforme avaliado pelo teste Kappa no software Jamovi, é apresentada na Tabela 1.

Foram avaliados 96 sujeitos, que correspondem ao número total de pontos visitados. O número de avaliadores foi igual a 2, considerando as i) classes mapeadas pelo MapBiomias e as ii) classes verificadas em campo. O percentual de concordância entre os avaliadores foi de 42% e o coeficiente Kappa foi igual a 0,341.

Tabela 1. Confiabilidade interavaliadores.

Método	Coefficiente Kappa
Sujeitos	96
Avaliadores	2
Concordância (%)	42
Kappa	0,341
p-valor	<0,001

Uma avaliação crítica dos dados destaca uma baixa acurácia, evidenciada por um valor inferior a 50%. Em um contexto de mapeamento, seria adequado alcançar pelo menos 85% de precisão; valor este geralmente buscado no senso comum.

O valor de Kappa obtido neste estudo (0,341) pode ser interpretado como uma concordância moderada entre os avaliadores segundo a proposta de Cohen (1960). Isso significa que há um acordo considerável além do que seria esperado apenas pelo acaso, mas ainda há margem para melhorias na concordância.

O valor-p para a comparação entre as classes mapeadas pelo MapBiomias e as classes corrigidas foi menor que 0,001, indicando que a probabilidade de observar uma diferença tão grande ou maior entre essas classes, puramente por acaso, é extremamente baixa (< 0,1%). Essa baixa probabilidade sugere que há uma diferença significativa entre as classes mapeadas e as classes corrigidas.

A Tabela 2 mostra a comparação entre as classes mapeadas pelo MapBiomias e as classes corrigidas, com o número de observações (n) para cada par de classes.

Observa-se que a classe de mosaico foi frequentemente associada a diferentes classes corrigidas, incluindo formação florestal, pastagem, cana e outras. Existem também várias instâncias em que os mosaicos foram corrigidos para classes completamente diferentes, como por exemplo, rios e lagos, confirmando a imprecisão na identificação das áreas classificadas como mosaico pelo MapBiomias.

Em outros casos, as classes corrigidas não são totalmente diferentes das classes mapeadas, mas sim representam uma variação ou subclasse da mesma categoria. Por exemplo a agricultura, na qual observações inicialmente classificadas como cana-de-açúcar foram corrigidas para citrus, indicando possíveis conflitos ou sobreposições nas definições das classes, até mesmo pela expansão da cultura em área anteriormente usada para cultivo de cana.

Por fim, constata-se que uso de geotecnologias pode contribuir com a gestão municipal, visto que bancos de dados podem ser elaborados com o

intuito de favorecer a análise do território, subsidiando a tomada de decisão (Stanganini et al., 2024). Todavia, a adoção da abordagem apresentada no presente estudo demanda conhecimentos prévios na manipulação de dados geoespaciais e a utilização de um SIG. Por outro lado, o manuseio em SIG livres não geram custos e pode favorecer o prolongamento de abordagens relacionadas aos dados geoespaciais, auxiliando a gestão pública municipal (Rizzati et al., 2024). Deste modo, é indispensável a realização de capacitação e a formação de recursos humanos na esfera municipal. A abordagem apresentada se torna útil para o planejamento ambiental, já que promove o refinamento dos usos do solo em escalas menores, reduzindo eventuais confusões e omissões ocasionadas em mapeamentos realizados para grandes escalas.

Tabela 2. Comparação de classes e número de observações (n).

Classes mapeadas pelo MapBiomias	Classes corrigidas	n
Mosaico	Rios e Lagos	4
	Formação Florestal	11
	Pastagem	18
	Cana	5
	Campo Úmido	5
Formação Florestal	Citrus	2
	Formação Florestal	11
Pastagem	Pastagem	14
	Campo Úmido	3
	Cana	7
Cana	Citrus	5
	Área Urbana	1
Área Urbana	Formação Florestal	2
	Campo Úmido	5
Campo Úmido	Citrus	1
	Rios e Lagos	1
Outras áreas não vegetadas	Outras áreas não vegetadas	1

Conclusões

Este estudo teve como objetivo obter melhorias na classificação de dados de uso e cobertura do solo da plataforma MapBiomias no município de Meridiano para aumento de sua precisão, requerida na aplicação a ser dada ao produto final. Para alcançar este fim, foi aplicada uma abordagem manual para correção dos polígonos classificados erroneamente e realizou-se visitas de campo para validação do refinamento.

A metodologia empregada demonstrada é adequada para o mapeamento do uso e ocupação do solo em escalas, menores como o município, visto

que uma das suas principais contribuições foi a eliminação da classe de mosaico. Essa classe foi frequentemente associada a outras diferentes classes corrigidas, incluindo formações florestais, pastagens, canaviais e outras categorias. Também foi observado que houve casos em que os mosaicos foram corrigidos para classes completamente distintas, como rios e lagos. Além disso, algumas correções revelaram variações ou subcategorias dentro das classes originais, como a transição de áreas inicialmente definidas como cana para cítricos; uma nova cultura em expansão.

A eliminação da classe de mosaico representou avanços na precisão da classificação e na confiabilidade dos dados obtidos. Como consequência direta, observou-se um aumento nas áreas destinadas à agricultura e pastagem, as quais são atividades econômicas de destaque no município e por isso, demandam atenção.

No contexto deste estudo, as imagens adicionais utilizadas foram provenientes de sensores orbitais de alta resolução (5 m do satélite RapidEye e até 50 cm do Google Earth Pro). Essas imagens complementares, aliadas aos trabalhos de validação de campo, desempenharam um papel fundamental ao fornecer informações detalhadas e confiáveis para a correta classificação e caracterização do uso e ocupação do solo no município de Meridiano.

A análise estatística feita a partir da discordância entre os avaliados na análise estatística sugere que houve uma quantidade significativa de classificações equivocadas feitas pelo MapBiomias. O baixo percentual de concordância (42%) e o baixo coeficiente Kappa (0,341) apresentam inconsistência entre as classificações mapeadas pelo MapBiomias e as classes corrigidas e verificadas em campo; isto resulta de diversos fatores, como a complexidade das categorias de uso do solo, a resolução espacial dos dados utilizados e a escala de mapeamento.

A correção das classificações conflitantes e o refinamento das áreas de uso do solo desenvolvido para uma representação mais precisa da realidade local, fortalecendo uma base de dados disponível para o planejamento urbano e a gestão ambiental. Logo, uma abordagem manual de fato contribuiu para a melhoria dos usos do solo. Os dados gerados podem contribuir para o planejamento ambiental em escalas menores, o processo pode ser prorrogado pela administração pública.

A presente pesquisa ressalta a importância de uma abordagem metodológica cuidadosa na análise do uso do solo em pequenas unidades, considerando as particularidades das coberturas

vegetais e ocupações, a correção de confusões na classificação e a inclusão de outras classes não mapeadas. No entanto, confirma-se que, embora tenham sido alcançadas melhorias, existem limitações e desafios enfrentados durante o processo de mapeamento manual, como o tempo gasto para o trabalho e a necessidade do conhecimento de geotecnologias, o que pode comprometer a aplicabilidade da metodologia em áreas maiores.

O município de Meridiano possui uma área relativamente pequena, o que facilitou a aplicação dos métodos manuais. Para municípios de maior extensão territorial, bacias hidrográficas ou mesmo para o acompanhamento anual das mudanças de uso do solo, a utilização dessa metodologia de detalhamento pode se tornar inviável devido à demanda de tempo e recursos necessários.

Deste modo, sugere-se como pesquisas futuras a revisão da amostragem e da área de coleta dos dados de campo, visto que as visitas consistiram na análise de aproximadamente 2,4 pontos por área, o que pode ser considerado um valor baixo para fins de maior acurácia. Isso pode promover melhorias na qualidade dos dados e, conseqüentemente, na precisão das análises realizadas. Com o objetivo de aprimorar ainda mais a qualidade dos dados e a precisão das análises, sugere-se também a exploração do potencial do mapeamento manual para complementar técnicas automatizadas ou semi-automatizadas. Essa abordagem integrada pode ser interessante para reduzir a carga de trabalho manual e aumenta a eficiência do processo, especialmente em estudos de maior abrangência.

Por fim, é importante destacar que a utilização da Coleção 6 do MapBiomias neste trabalho proporcionou uma base consistente e atualizada para o mapeamento do uso do solo do município, considerando a data de início do processamento dos dados (dezembro de 2021). Também é válido ressaltar que o MapBiomias realiza atualizações periódicas, o que contribui para aprimorar ainda mais as informações disponíveis, as quais são amplamente reconhecidas por sua abrangência e qualidade, resultado de um contínuo esforço de mapeamento e monitoramento em escala nacional. Apesar de haver versões mais recentes após a Coleção 6, essa versão ainda representou uma contribuição importante para a compreensão e análise do uso do solo em Meridiano, que anteriormente não possuía tal informação, fornecendo resultados relevantes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem a Professora Dra. Ângela Terumi Fushita (UFABC), pelos comentários e auxílio na interpretação dos dados.

Referências

- Alcantara Lima, S., Vieira, V. D. C. B., 2024. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na expansão da agricultura de cana-de-açúcar no município de Aldeias Altas, Maranhão, Brasil. *Research, Society and Development* [Online] 13. Disponível: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44805>. Acesso: 07 abr. 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2018. Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraná. Escala 1:50.000/1:100.000. Brasília. Disponível: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/a7e786e6-9f80-43f4-aaeb-89f019863b60>. Acesso: 08 fev. 2022.
- Baccarin, J. G., 2024. Sugar-energy/Sugarcane Expansion and Concentration of Agricultural Land in the state of São Paulo, Brazil, between 1996 and 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural* [Online] 62. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.269457>. Acesso: 07 abr. 2024.
- Baeza, S., Vélez-Martin, E., Abelleira, D. D., Banchemo, S., Gallego, F., Schirmbeck, J., Veron, S., Vallejos, M., Weber, E., Oyazabal, M., Barbieri, A., Petek, M., Lara, M. G., Sarraillhé, S. S., Baldi, G., Bagnato, C., Bruzzone, L., Ramos, S., Hasenack, H., 2022. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomass Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* [Online] 28. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834>. Acesso: 27 jul. 2023.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2020. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos. São Paulo. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso: 10 fev. 2022.
- Cima, I. S., Amaral, S., & Massi, K. G., 2023. Mapping Cerrado remnants in an anthropized landscape in southeast Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* [Online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101032>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Cintra, M. C. S., Lemes, P., Alvarado, S. T., Pessoa, E. M., 2023. Filling the gap to avoid extinction: Conservation status of Brazilian species of *Epidendrum* L. (Orchidaceae). *Journal for Nature Conservation* [Online] 71. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126328>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46.
- Ferreira, J. C., Patino, C. M., 2015. What does the p value really mean?. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 41, 485-485. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1806-37132015000000215>. Acesso: 22 mar. 2024.
- Gao, J., O'Neill, B. C., 2020. Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways. *Nature Communications* [Online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15788-7>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Garofalo, D. F. T., Novaes, R. M., Pazianotto, R. A. A., Maciel, V. G., Brandão, M., Shimbo, J. Z., Folegatti-Matsuura, M. I. S., 2022. Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. *Journal of Cleaner Production* [Online] 364. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.13254>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Google Earth Engine, 2023. Meet Earth Engine. Disponível: <https://earthengine.google.com/>. Acesso: 25 maio 2023.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* [Online] 202. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* [Online], 342. Disponível: <https://doi.org/10.1126/science.1244693>. Acesso: 27 jul. 2023.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Censo Demográfico 2010. População no último censo. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira. Rio de Janeiro. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=sobre>. Acesso: 22 fev. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Cidades. Rio de Janeiro. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso: 04 fev. 2022.
- Kadri, N., Jebari, S., Augusseau, X., Mahdhi, N., Lestrelin, G., & Berndtsson, R., 2023. Analysis of Four Decades of Land Use and Land Cover Change in Semiarid Tunisia Using Google Earth Engine. *Remote Sensing* [Online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.3390/rs15133257>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Karoff, C., Vara-Vela, A. L., 2023. Data driven analysis of atmospheric methane concentrations as function of geographic, land cover type and season. *Frontiers in Earth Science* [Online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1119977>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Kiataqui, F. K., Noronha, S. E., Simon M. F., 2022. Contribution of the Brazilian National Forest Inventory to the knowledge of Cerrado woody flora. *Biota Neotrop.* [Online] 22 Disponível: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1306>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Koga, D. M., Silva, S. S., Brown, I. F., 2019. Monitoramento do uso e cobertura da terra no interior e entorno da área norte do Parque Nacional da Serra do Divisor/AC entre 1988 e 2018. In: XIX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. Santos. Disponível: <https://2019.sbsr.com.br/br/node/1379>. Acesso: 01 mar. 2023.
- Liang, X., Guan, Q., Clarke, K. C., Liu, S., Wang, B., Yao, Y., 2021. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China. *Computers, Environment and Urban Systems* [Online] 85. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101569>. Acesso: 27 jul. 2023. Acesso: 27 jul. 2023.
- Louzada, R. O., Bergier, I., Roque, F. O., 2023. The first inventory of gullies in the Upper Taquari River Basin (Brazil) and its agreement with land use classes. *Ecological Informatics* [Online] 78. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102365>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Mapbiomas. Mapbiomas Brasil. 2023. Disponível: <https://mapbiomas.org/>. Acesso: 28 fev. 2023.
- Mataveli, G. A. V., Oliveira, G., Seixas, H. T., Pereira, G., Stark, S. C., Gatti, L. V., Basso, L. S., Tejada, G., Cassol, H. L. G., Anderson, L. O., Aragão, L. E. O. C., 2021. Relationship between biomass burning emissions and deforestation in amazonia over the last two decades. *Forests* [Online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/f12091217>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Mendes, I. A. S., Costa, A. M., 2022. Mudança temporal no uso e cobertura da terra na bacia do alto rio das velhas. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise* [Online] 55. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v55i0.82190>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Meridiano, 2015. Plano de macrodrenagem rural de Meridiano. Meridiano.
- Meridiano, 2018. Plano Municipal Específico dos Serviços de Saneamento Básico Município. Meridiano.
- Morais, F. G., Franco, M. A., Palácios, R., Machado, L. A. T., Rizzo, L. V., Barbosa, H. M. J., Jorge, F., Schafer, J. S., Holben, B. N., Landulfo, E., Artaxo, P., 2022. Relationship between land use and spatial variability of atmospheric brown carbon and black carbon aerosols in Amazonia. *Atmosphere*, [Online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/atmos13081328>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Neto, A. M., Fernandes, G. S. T., Lopes, J. R. A., Lima, E. A., Lopes, P. M. O., Rodrigues, L. S., Junior, A. S. G., 2023. Changes in land use and cover and their consequences on the spatial distribution of evapotranspiration and climatic elements in southwest Piauí, MATOPIBA. *Journal of South American Earth Sciences* [Online] 120. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.10408>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Neves, A. K., Körting, T. S., Fonseca, L. M. G., Escada, M. I., 2020. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. *Acta Amazonica* [Online] 50. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201900981>. Acesso: 27 jul. 2023.

- Nguyen, T. T., Grote, U., Neubacher, F., Rahut, D. B., Do, M. H., Paudel, G. P., 2023. Security risks from climate change and environmental degradation: Implications for sustainable land use transformation in the Global South. *Current Opinion in Environmental Sustainability* [Online] 63. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101322>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Quevedo, R. O., Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Morante-Carballo, F., Korup, O., Daleles Rennó, C., 2023. Land use and land cover as a conditioning factor in landslide susceptibility: A literature review. *Landslides* [Online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-02020-4>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Pham-Duc, B., Nguyen, H., Phan, H., Tran-Anh, Q., 2023. Trends and applications of google earth engine in remote sensing and earth science research: A bibliometric analysis using scopus database. *Earth Science Informatics* [Online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01035-2>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Planet, 2023. Basemaps viewer. Califórnia. Disponível: <https://www.planet.com/>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- Projeto MapBiomias, 2021. Coleção 6 da Série Anual de Mapas da Cobertura e uso do Solo no Brasil. Brasil. Disponível: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso: 09 jun. 2022.
- Ramos, R. G., Scarabello, M. C., Costa, W., Andrade, P. R., Soterroni, A., Ramos, F. M., 2023. A mathematical programming approach for downscaling multi-layered multi-constraint land-use models. *International Journal of Geographical Information Science* [Online] 37. Disponível: <https://doi.org/10.1080/13658816.2023.2241144>. Acesso: 07 abr. 2024.
- Rizzatti, M., Batista, N. L., Spode, P. L. C., Trentin, R., Ribeiro, E. A. W., & Crummenauer, C. A., 2024. Desenvolvimento de Cadastro Multifinalitário de baixo custo e plataforma web para sua atualização: Contribuições de softwares livres e geotecnologias no planejamento territorial. *Revista franco-brasileira de geografia* [Online] 62. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.56269>. Acesso: 07 abr. 2024.
- Rosan, T. M., Sitch, S., Mercado, L. M., Heinrich, V., Friedlingstein, P., Aragão, L. E. O. C., 2022. Fragmentation-driven divergent trends in burned area in Amazonia and Cerrado. *Frontiers in Forests and Global Change* [Online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.801408>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Santos, V. J., Calijuri, M. L., Assis, L. C., 2022. Land cover changes implications in energy flow and water cycle in São Francisco Basin, Brazil, over the past 7 decades. *Environ. Earth Sci.* [Online] 81. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10210-5>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Shimabukuro, Y. E., Arai, E., da Silva, G. M., Hoffmann, T. B., Duarte, V., Martini, P. R., Dutra, A. C., Mataveli, G., Cassol, H. L. G., Adami, M., 2023. Mapping Land Use and Land Cover Classes in São Paulo State, Southeast of Brazil, Using Landsat-8 OLI Multispectral Data and the Derived Spectral Indices and Fraction Images. *Forests* [Online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/f14081669>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Shimabukuro, Y. E., Arai, E., Silva, G. M., Dutra., A. C., Mataveli, G., Duarte, V., Martini, P. R., Cassol, H. L. G., Ferreira, D. S., Junqueira, L. R., 2022. Mapping and monitoring forest plantations in São Paulo State, Southeast Brazil, using fraction images derived from multiannual Landsat sensor Images. *Forests* [Online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.3390/f13101716>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Shimabukuro, Y. E., Oliveira, G., Pereira, G., Arai, E., Cardozo, F., Dutra, A. C., Mataveli, G., 2023. Assessment of Burned Areas during the Pantanal Fire Crisis in 2020 Using Sentinel-2 Images. *Fire* [Online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.3390/fire6070277>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Silva, C. A., Guerrisi, G., Frate, F. D., Sano, E. E., 2022a. Near-real time deforestation detection in the Brazilian Amazon with Sentinel-1 and neural networks. *European Journal of Remote Sensing* [Online] 55. Disponível: <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.2025154>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Silva, F. L., Fushita, Â. T., da Cunha-Santino, M. B., Bianchini, I., 2022b. Adopting basic quality tools and landscape analysis for applied limnology: An approach for freshwater reservoir management. *Sustainable Water Resources Management* [Online] 8. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00655-8>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Silva, M. A. S., Matos, L. N., Santos, F. E. O., Dompieri, M. H. G., Moura, F. R., 2022b.

- Tracking the Connection Between Brazilian Agricultural Diversity and Native Vegetation Change by a Machine Learning Approach. *IEEE Latin America Transactions* [Online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9904762>. Acesso: 27 jul. 2023.
- Stanganini, F., Melo, L., Leonelli, G., Junior, V. M., 2024. Utilização de geotecnologias na identificação da precariedade urbana para regularização fundiária. *Metodologias e Aprendizado* [Online] 7. Disponível em: <https://doi.org/10.21166/metapre.v7i1.5038>. Acesso: 07 abr. 2024.
- The jamovi project, 2022. jamovi (versão 2.3.28) [software de computador]. Disponível: <https://www.jamovi.org>. Acesso: 04 abr. 2024.
- Vasconcelos, B. R. de, Lima, M. T. V., Filho, A. C. P., 2024. Detecção de mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Amazonas baseada nas classificações do projeto MapBiomias. *Geofronter* [Online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.7773>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Viana, J. F. de S., Montenegro, S. M. G. L., Srinivasan, R., Santos, C. A. G., Mishra, M., Kalumba, A. M., Silva, R. M., 2023. Land Use and Land Cover Trends and Their Impact on Streamflow and Sediment Yield in a Humid Basin of Brazil's Atlantic Forest Biome. *Diversity* [Online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.3390/d15121220>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Wang, H., Liu, Y., Wang, Y., Yao, Y., Wang, C., 2023. Land cover change in global drylands: A review. *Science of The Total Environment* [Online] 863. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160943>. Acesso: 01 abr. 2024.
- Xavier, R. L., 2023. Geodiversidade funcional e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos de Meridiano – SP (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. Disponível: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18070>. Acesso: 25 maio 2023.
- Xavier, R. L., Menezes, D. B., 2022. Complementação de traçado hidrográfico para geração de carta de maior detalhe. In VII Jornada de Gestão e Análise Ambiental. São Carlos. Disponível: https://jornadagaam7.faiufscar.com/pagina/6843-anais-do-evento#. Acesso: 07 ago. 2023.
- Yin, D., Wang, L., Lu, Y., Shi, C., 2024. Mangrove tree height growth monitoring from multi-temporal UAV-LiDAR. *Remote Sensing of Environment* [Online] 303, 114002. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114002>. Acesso: 07 abr. 2024.
- Zhang, T., Cheng, C., Wu, X., 2023. Mapping the spatial heterogeneity of global land use and land cover from 2020 to 2100 at a 1 km resolution. *Scientific Data* [Online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02637-7>. Acesso: 07 abr. 2024.
- Zhao, S., Liu, M., Tao, M., Zhou, W., Lu, X., Xiong, Y., Li, F., Wang, Q., 2023. The role of satellite remote sensing in mitigating and adapting to global climate change. *Science of The Total Environment* [Online] 904. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166820>. Acesso: 01 abr. 2024.