

INOVAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE POSICIONAL EM MAPEAMENTO CADASTRAL RURAL: UM ESTUDO DE CASO

Marcos de Paulo Ramos

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, MG, Brasil
marcosramos.ufv@gmail.com

Marcelo Antonio Nero

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, MG, Brasil
marcelo.nero@gmail.com

Plínio Temba

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, MG, Brasil
temba.mobile@gmail.com

Murillo Henrique Ferreira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, MG, Brasil
murillo@exitusengenharia.com

André Henrique Campos Teixeira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, MG, Brasil
andrehenrique@cefetmg.br

Pedro Henrique Figueiredo Araújo

Universidade Federal de Minas Gerais, MG, Brasil
pdr.figueiredo@gmail.com

Bráulio Magalhães Fonseca

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, MG, Brasil
brauliomagalhaes@gmail.com

RESUMO

Este estudo propõe e valida uma solução inovadora para o mapeamento cadastral, focada no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Inicia-se com uma análise da legislação vigente, explorando geotecnologias e inovações aplicadas ao mapeamento. A metodologia utiliza a Aeronave Remotamente Tripulada (termo em inglês para Remotely Piloted Aircraft – RPA), equipado com GNSS, e internet por satélite, dispensando pontos de apoio terrestre, destacando-se pela precisão e acurácia na geração de ortofotomosaicos. A área de estudo foi a Fazenda Experimental Professor Hélio Barbosa da Escola de Veterinária da UFMG, localizada no município de Igarapé/MG. Os produtos gerados são o ortofotomosaico de boa resolução, mapas temáticos de uso e cobertura do solo, delimitação de áreas (APP, reserva legal, uso consolidado) e modelo digital de superfície — demonstraram elevada precisão e acurácia posicionais, conforme normas técnicas brasileiras e americanas. Em comparação com métodos tradicionais, a abordagem resultou em maior agilidade no processamento e redução significativa de custos operacionais. A proposta mostra-se viável para replicação em cooperativas e associações rurais, contribuindo para o aprimoramento do CAR e para a gestão territorial de propriedades rurais.

Palavras-chave: Cadastro Ambiental Rural (CAR). *Remotely piloted aircraft* (RPA). Controle de Qualidade Posicional.

INNOVATION AND TECHNOLOGY IN RURAL CADASTRAL MAPPING: A CASE STUDY

ABSTRACT

This study proposes and validates an innovative solution for cadastral mapping, focusing on the Rural Environmental Registry (CAR). It begins with an analysis of current legislation, exploring geotechnologies and innovations applied to mapping. The methodology uses a Remotely Piloted Aircraft (RPA) equipped with GNSS and satellite internet, eliminating the need for ground support points and standing out for its precision and accuracy in generating orthophotomosaics. The study area was the Professor Hélio Barbosa Experimental Farm of the UFMG School of Veterinary Medicine, located in the municipality of Igarapé, Minas Gerais. The generated products include high-resolution orthophotomosaics, thematic maps of land

use and land cover, area delimitation (APP, legal reserve, consolidated use), and a digital surface model. These maps demonstrated high positional precision and accuracy, in accordance with Brazilian and American technical standards. Compared to traditional methods, the approach resulted in faster processing and a significant reduction in operating costs. The proposal proves viable for replication in rural cooperatives and associations, contributing to the improvement of the CAR and the territorial management of rural properties.

Keywords: Rural Environmental Registration (RER). Remotely piloted aircraft (RPA). Positional quality control.

INTRODUÇÃO

A elaboração de um cadastro ambiental rural consistente é necessária para uma boa gestão. Ele deve fornecer a base legal, geométrica e estatística para proteger os direitos de propriedade do indivíduo e do Estado. Isso permite a tomada de melhores decisões relacionadas às políticas de planejamento, uso e ocupação do solo, facilita as transações imobiliárias e, principalmente, protege o meio ambiente (Alcázar-Molina, 2016).

O tema cadastro está fortemente ligado à cartografia, à geodésia e à fotogrametria, mais especificamente ao mapeamento digital. Nos últimos anos, tem-se observado um aumento sem precedentes na procura por produtos de mapeamento digital por parte dos mais diferentes tipos de usuários (Rosenfeldt, 2016).

Todas as fases do processo de produção de um produto cartográfico são afetadas por esse impulso tecnológico, desde a geração de dados, com o desenvolvimento de novas plataformas para aquisição e troca de informações geográficas, serviços ou dados, até a avaliação da qualidade do produto final. Portanto, é necessário estabelecer mecanismos que melhorem os processos de integração e o controle da qualidade do produto final (Ramos, 2020; Ruiz-Lendinez et al., 2016). Esse aspecto pode estar intimamente ligado ao processo de avaliação da propriedade e, conseqüentemente, ao seu preço de venda, assunto amplamente abordado em Souza; Nascimento; Gebara (2012). Além disso, seria interessante avaliar o aspecto temático da produção agropecuária da propriedade, quantificando sua utilização, como abordado em Fagundes e Borges (2015).

Além disso, a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) esclarece alguns pontos sobre a precisão e a acurácia posicionais dos produtos de dados geoespaciais. Primeiramente, a troca de dados geoespaciais entre usuários deve ser sempre acompanhada de metadados que indiquem claramente a precisão e a acurácia posicionais. Em segundo lugar, destaca-se que a precisão e a acurácia posicionais são cruciais para determinar a aplicabilidade dos dados a uma finalidade específica. A precisão e a acurácia posicionais mal rotuladas ou mal relatadas podem ter conseqüências catastróficas (ASPRS, 2023).

Vale destacar também alguns trabalhos recentes sobre cadastro ambiental rural, tais como os apresentados em: 1) Simões e Borges (2025) analisaram a adequação do CAR em assentamentos rurais no estado do Maranhão, utilizando ferramentas de geoprocessamento e com base em dados abertos e públicos. Eles evidenciaram a necessidade de mecanismos legais para verificar inconsistências. Brito, Palhares e Nero (2024) analisaram a confiabilidade dos dados de uso do solo de imóveis rurais declarados no CAR para o município de Mariana (MG), avaliando a acurácia temática do mapeamento. Os resultados mostraram que os dados inseridos são de boa qualidade, com índice Kappa de 0,75 (Google Earth) e 0,69 (MapBiomass — Coleção 5), respectivamente. Mendes et al. (2022) estudaram a regularidade ambiental das áreas de reserva legal de imóveis rurais do bioma Cerrado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver e validar uma solução inovadora e eficiente para o mapeamento cadastral, especificamente voltada para o Cadastro Ambiental Rural (CAR). A metodologia proposta visa demonstrar se há ou não eficácia na redução de custos, no aumento da eficiência e na melhoria da acurácia dos levantamentos.

Legislação ambiental e cadastro ambiental rural

No Brasil, após a revisão do Código Florestal Brasileiro (Lei n.º 12.651/2012), em 2012, foi criado um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais. Denominado Cadastro

Ambiental Rural (CAR), esse registro tem a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento (BRASIL, 2012a).

Para regulamentá-lo, foi promulgado o Decreto n.º 7.830/2012, que criou o Sistema de Cadastro Ambiental Rural do Brasil (SICAR). Esse sistema eletrônico de âmbito nacional é destinado à gestão das informações ambientais dos imóveis rurais (Brasil, 2012b).

O CAR inclui dados do proprietário ou possuidor, a planta georreferenciada do perímetro do imóvel, as áreas de interesse social e de utilidade pública, a localização dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente (APP), das Áreas de Uso Restrito (AUR) e das áreas consolidadas, além da localização das Reservas Legais (RL). A inscrição no CAR é obrigatória para todas as propriedades e posses rurais, tem natureza declaratória e é permanente. O declarante está sujeito a sanções penais e administrativas em caso de omissão ou prestação de informações falsas.

Desde sua implantação até outubro de 2023, mais de sete milhões de registros de imóveis rurais haviam sido cadastrados no CAR, abrangendo uma área de 671.962.056 hectares no Brasil. Em Minas Gerais, foram registrados mais de um milhão de cadastros, totalizando uma área de 55.179.552 hectares (SFB, 2023).

No entanto, em alguns casos, o registro no CAR pode ser simplificado, exigindo apenas a identificação do proprietário ou possuidor, a comprovação da propriedade ou posse e a apresentação de um croqui que indique o perímetro do imóvel, as áreas de preservação permanente e os remanescentes que formam a reserva legal. Não é necessário que o levantamento seja elaborado por um profissional habilitado nem que o produto apresentado tenha rigor técnico (BRASIL, 2012b).

Diante desse contexto, é necessária a verificação dos dados declarados no CAR. Analisar esses dados de forma individualizada, cadastro a cadastro, é uma atividade complexa. Para atender a essa demanda, o governo desenvolveu o AnalisaCAR, uma ferramenta de análise dinâmica que visa aumentar a agilidade e a precisão dos dados fornecidos pelos usuários do sistema (SFB, 2023). Ela permite a análise simultânea de milhões de cadastros, utilizando tecnologias de sensoriamento remoto e mapeamentos temáticos elaborados por cada estado. O AnalisaCAR faz cruzamentos automatizados para verificar as informações geográficas inseridas no CAR. Em caso de divergências, os proprietários ou possuidores recebem notificações automáticas no sistema para corrigir os cadastros e regularizar ambientalmente seus imóveis rurais (SFB, 2021). Dessa maneira, as atualizações e os novos cadastros no CAR são submetidos a um processo de análise dinâmica, que inclui a revisão de dados e a verificação da regularidade ambiental. O que antes não tinha exigências ou controle de qualidade posicional agora passa por uma análise dinâmica que identifica, por exemplo, sobreposições. Portanto, os atuais levantamentos topográficos, para atender às exigências do CAR, inevitavelmente requerem qualidade posicional.

Focar nas exigências legais para o registro e manutenção do Cadastro Ambiental Rural, com ênfase nos requisitos relacionados à qualidade posicional dos dados geoespaciais, foi essencial para entender os requisitos legais e garantir que a metodologia proposta estivesse em conformidade com a legislação vigente. O Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) exige que os dados geoespaciais apresentados tenham qualidade, precisão e acurácia posicionais. Embora o CAR seja uma ferramenta essencial para a gestão ambiental, garantir a qualidade dos dados apresentados, especialmente em regiões remotas e de difícil acesso, continua sendo um desafio significativo.

Tecnologias e inovações aplicáveis à mapeamento cadastral

O mapeamento cadastral evoluiu significativamente com o avanço das geotecnologias (SILVA et al., 2024). Tradicionalmente, a topografia era realizada com métodos convencionais, como a estação total. Embora precisos, esses métodos demandavam tempo e esforço consideráveis (Deliry; Avdan, 2021; Nwilag; Eyoh; Ndehedehe, 2023). A introdução dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (Global Navigation Satellite System — GNSS) revolucionou esse campo, possibilitando medições precisas e rápidas. Esses sistemas têm aplicações que vão desde o posicionamento simples até análises geodésicas complexas (Paranhos Filho et al., 2021).

Além do GNSS, o sensoriamento remoto tem se destacado como uma ferramenta crucial no mapeamento cadastral (Amirgulovich; Nosirovich; Komil O'G'Li, 2023). Por meio de imagens de satélite e cenas aéreas,

é possível obter uma visão abrangente e detalhada das áreas mapeadas. A fotogrametria digital, que envolve a extração de medidas precisas a partir de cenas digitais, tem sido amplamente utilizada para a criação de mapas topográficos e de modelos digitais de elevação (Atak et al., 2024).

O scanner aéreo a laser, ou LIDAR (Light Detection and Ranging), é outra tecnologia de ponta que permite a captura de dados tridimensionais do terreno com boa precisão. Esse método é especialmente útil em áreas com vegetação densa ou terrenos acidentados, onde outras técnicas de levantamento podem ser comprometidas. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) complementam essas tecnologias, oferecendo plataformas para a gestão, a análise e a visualização de grandes volumes de dados geoespaciais.

Nos últimos anos, a combinação de aeronaves não tripuladas (RPA) com GNSS tem ganhado destaque devido à sua eficiência e precisão (Lepoglavec et al., 2023). Podem ser divididos em dois métodos:

- a. Método RTK - Utiliza um receptor GNSS num marco com coordenadas geográficas conhecidas.
- b. Método RTK NTRIP - Utiliza um marco da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), administrada pelo IBGE. A conectividade é obtida via internet (Starlink, por exemplo), permitem a realização de levantamentos topográficos rápidos e detalhados, eliminando a pré-sinalização com distribuição de alvos sobre a superfície física. Técnica rotineira nos métodos tradicionais (Nwilag; Eyoh; Ndehedehe, 2023).

A internet por satélite proporciona uma conexão estável, essencial para a transmissão contínua de dados GNSS em tempo real (Kassas et al., 2021). Essa tecnologia é particularmente valiosa em áreas remotas, onde outras formas de conectividade não estão disponíveis, o que representa um grande obstáculo em países emergentes e muito extensos, como o Brasil.

O levantamento com RPAS também gera produtos valiosos, como o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT). Enquanto o MDS representa a elevação de todos os objetos na superfície, como vegetação e edificações, o MDT oferece uma representação do terreno nu, essencial para análises topográficas e planejamento de uso do solo. Esses produtos podem ser utilizados para diversas finalidades, incluindo análise de declividade, planejamento de obras de infraestrutura e gestão de áreas de preservação.

Qualidade posicional de produtos de dados geoespaciais

A qualidade posicional dos produtos de dados geoespaciais é fundamental para garantir a precisão, a acurácia e a confiabilidade das informações utilizadas em diversos projetos, incluindo o mapeamento cadastral com RPA (TEIXEIRA et al., 2023). Existem normas estabelecidas tanto internacionalmente quanto no Brasil para avaliar essa qualidade.

Nos Estados Unidos, a American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) estabelece, por meio da National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), padrões rigorosos para a precisão e a acurácia posicionais. Esse padrão utiliza o erro médio quadrático (em inglês, root mean square error, ou RMSE) como uma medida-chave, classificando a precisão e a acurácia horizontais dos dados geoespaciais (ASPRS, 2023).

No Brasil, a Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016a, 2016b) regulamenta as normas de qualidade posicional. Conforme o Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984, os produtos cartográficos devem ser avaliados quanto à sua precisão e tendência (BRASIL, 1984). A "Classe A" é a melhor classificação, indicando maior precisão e acurácia segundo essas normas. As referências DSG (2016a e 2016b) já consideram produtos gerados com uma exigência de qualidade posicional mais rigorosa que a exigida no Brasil em 1984.

A avaliação da qualidade posicional é essencial para verificar a conformidade dos produtos geoespaciais com os níveis de precisão exigidos para suas finalidades (ZANETTI; BRAGA; SANTOS, 2018). A avaliação da qualidade posicional garante a confiabilidade dos dados e minimiza os erros que poderiam comprometer as decisões baseadas neles. No presente trabalho, o ortofotomosaico gerado foi submetido a testes de qualidade posicional utilizando tanto a norma da ASPRS (2023) dos Estados

Unidos da América quanto a Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) do Brasil (DSG, 2016a, 2016b). Essa dupla avaliação permitiu validar a precisão e a acurácia do produto, assegurando sua conformidade com os padrões internacionais e nacionais.

METODOLOGIA

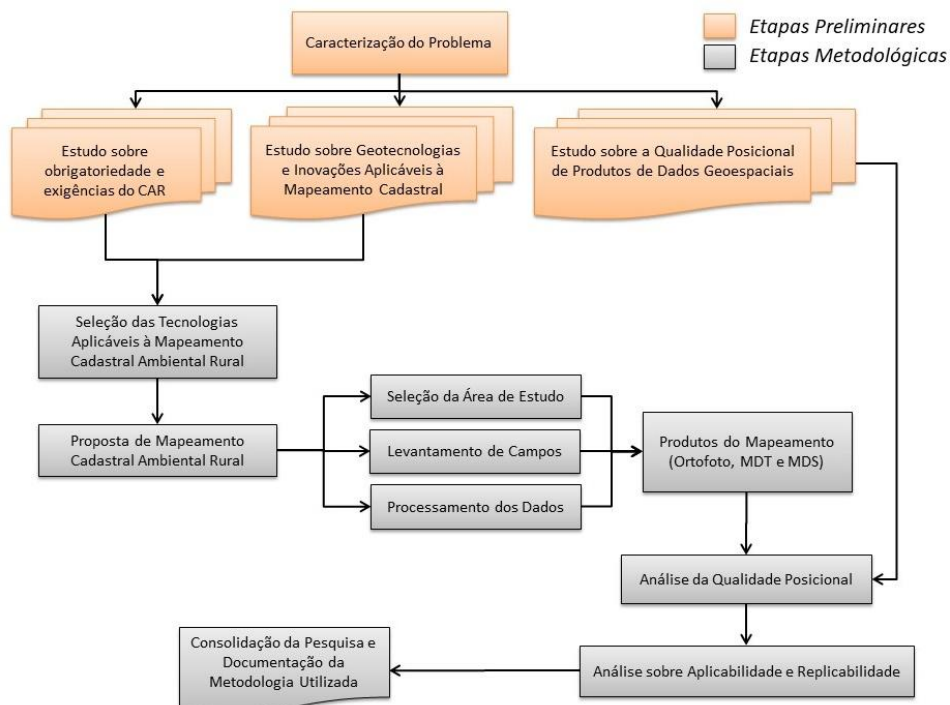
A metodologia deste trabalho foi estruturada em duas etapas, preliminares e metodológicas (Figura 1), a seguir temos as etapas preliminares:

- Estudo sobre a legislação, obrigatoriedades e exigências aplicáveis ao CAR.
- Estudo sobre geotecnologias e inovações aplicadas ao mapeamento cadastral.
- Estudo sobre qualidade posicional de produtos de dados geoespaciais.

E as etapas metodológicas:

- Seleção das tecnologias aplicáveis à mapeamento cadastral ambiental rural.
- Apresentação de uma proposta inovadora para o mapeamento cadastral rural.
- Realização de um estudo de caso (seleção da área de estudo, levantamento de campo e processamento dos dados).
- Análise da qualidade posicional do produto gerado no mapeamento.
- Discussão sobre a aplicabilidade e replicabilidade da solução proposta.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia do trabalho



Fontes: Os autores, 2025.

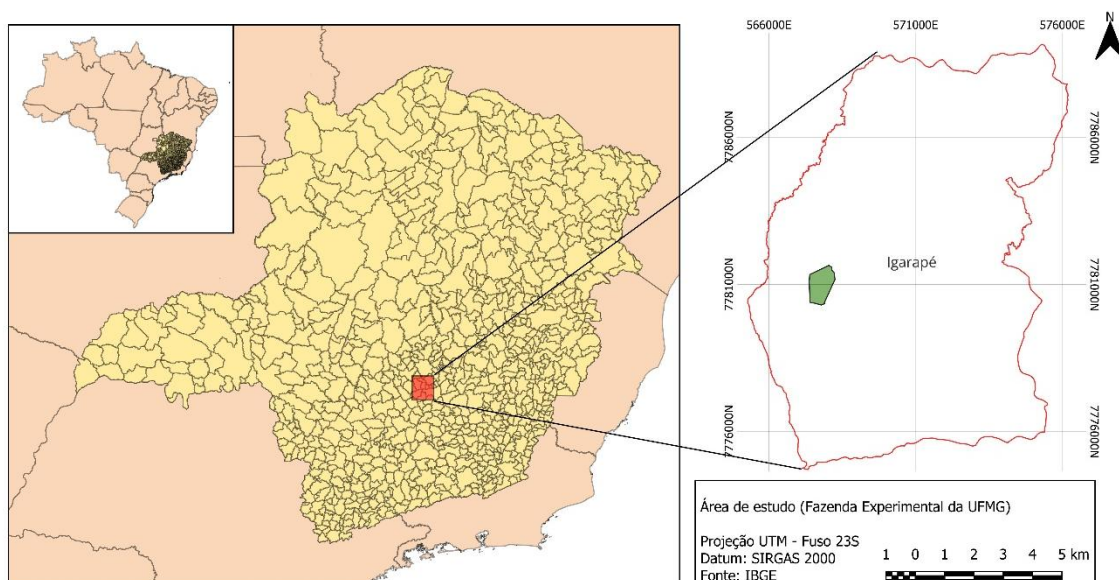
A metodologia proposta neste estudo envolve o uso de RPAS equipados com GNSS, utilizando o método de posicionamento RTK NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Estudos apontam que é possível obter uma precisão global do processamento fotogramétrico na faixa de dezenas de centímetros,

o que permite garantir uma escala representacional de pelo menos 1:500 sem o uso de alvos — pontos de controle terrestres (Teppati, Losè; Chiabrando; Tonolo, 2020).

O levantamento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizada em Igarapé (MG) (Figura 2). A escolha dessa área de estudo deve-se à sua localização distante da zona urbana, onde não há disponibilidade de internet por cabo e a cobertura de internet por telefonia móvel é deficiente. Essas condições específicas permitiram testar a eficácia da metodologia proposta em um ambiente com infraestrutura limitada, evidenciando a importância da internet por satélite para garantir a conectividade necessária.

Para a realização do levantamento, foi utilizado um RPA (Aeronave Remotamente Pilotada) Matrice 300, equipado com GNSS (Sistema de Posicionamento Global), scanner a laser, antena e roteador Wi-Fi da Starlink, além de um receptor GNSS R12i como base local no método NTRIP. O plano de voo foi elaborado no aplicativo DJI Pilot e configurado para uma altura de 120 metros, com sobreposição frontal de 80% e lateral de 70%. O voo durou 45 minutos, e foram utilizados dois pares de bateria. O voo seguiu todos os protocolos de segurança previstos pela legislação e pelos órgãos de controle, conforme Brasil (2023).

Figura 2 - Área de estudo (Fazenda Experimental da UFMG - Igarapé/MG)



Fontes: Os autores, 2025.

O marco utilizado pela RBMC foi a estação MGBH, localizada no Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, em Belo Horizonte (MG). A internet por satélite da Starlink forneceu a conectividade necessária para a obtenção do sinal NTRIP.

Para a validação da metodologia, foi utilizada uma ortofoto de referência disponibilizada pela Prefeitura de Igarapé/MG. Essa ortofoto foi produzida por uma empresa brasileira de presença global que realizou um aerolevantamento com um avião tripulado. O resultado foi uma ortofoto com escala de 1:1000 e resolução espacial de 10 cm, obtida por meio de um método tradicional e consagrado (classe A, compatível com a escala de 1:1000, conforme DSG, 2016a, 2016b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

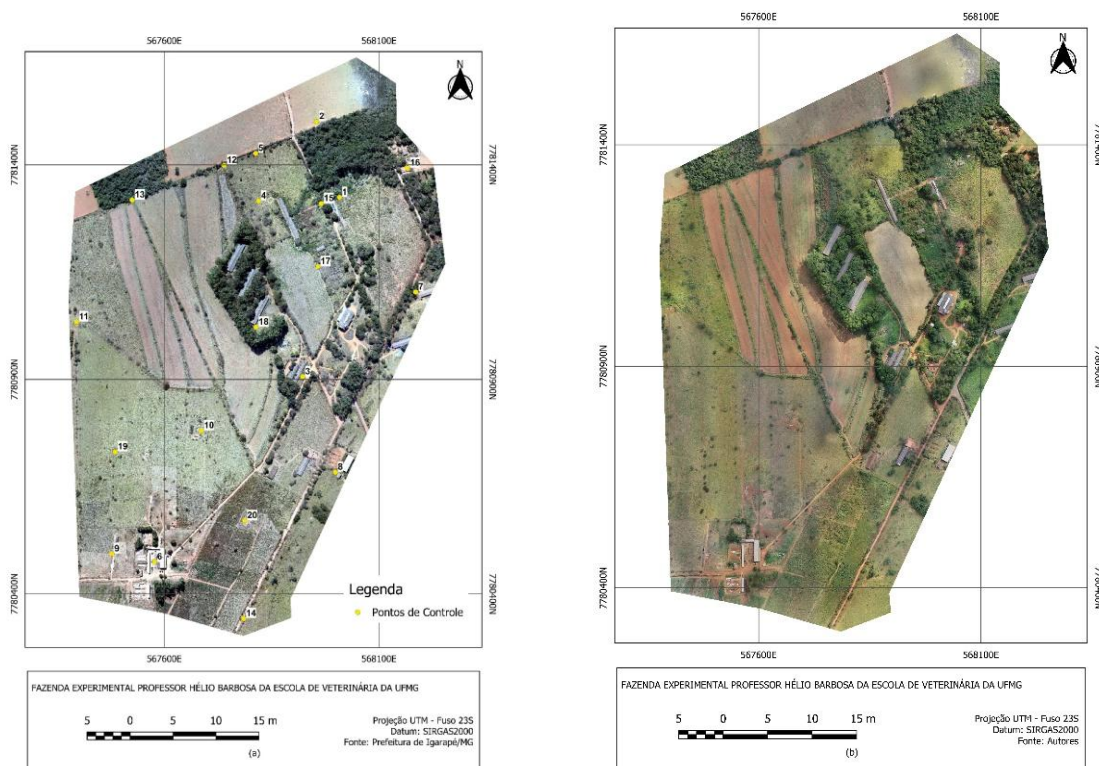
Como resultado inicial, obteve-se um ortofotomosaico com resolução de pixel de 3,0 cm e erro planimétrico de 10,0 cm, conforme indicado no relatório de processamento. O processamento dos dados coletados foi realizado com o software Agisoft Metashape, e a qualidade posicional do produto gerado foi validada com o software GeoPEC (SANTOS et al., 2016). Para essa validação, foram utilizados 20 pontos de checagem,

e o RMSE das discrepâncias foi de 0,1888 m (Figura 3a). O ortofotomosaico gerado foi classificado como ACURADO para a escala de 1/2000, obtendo a "Classe A", de acordo com as normas brasileiras (DSG, 2016a, 2016b) (Figura 3b). A análise de tendência e precisão demonstrou que o produto é preciso e não apresenta tendência. Os pontos de checagem possuem um padrão disperso, não sendo identificados outliers. São acurados, precisos e não apresentam tendência.

Além disso, a qualidade posicional foi validada pela norma americana ASPRS (2023), resultando em um RMSE horizontal (RMSEH) de 0,189 m. Esses resultados indicam que o ortofotomosaico gerado atende aos padrões de precisão e acurácia exigidos, comprovando a eficácia e a qualidade do método de mapeamento proposto.

Foram exploradas inovações tecnológicas recentes aplicadas ao mapeamento cadastral, com foco em geotecnologias, como RPAS, GNSS RTK, NTRIP e internet via satélite (Starlink).

Figura 3 - (a) Ortofoto de referência com os pontos de checagem utilizados (b) Ortofotomosaico da metodologia proposta



Fontes: Os autores, 2025.

Os levantamentos topográficos de áreas de média e grande extensão, utilizando equipamentos tradicionais, como estação total e GNSS, são precisos, mas apresentam várias desvantagens. Eles exigem equipes de campo maiores, mais tempo em campo e um período mais longo de processamento de dados. Em contraste, a metodologia proposta oferece uma solução mais eficiente e prática para o mapeamento cadastral, resultando, de modo significativo, na redução dos custos de campo e de execução. Essa redução pode ser estimada em uma razão de aproximadamente três para um (Ali; Tuladhar; Zevenbergen, 2012).

Após análise da qualidade posicional, o ortofotomosaico gerado apresentou um erro planimétrico de 19,0 cm, sendo classificado como Classe A para a escala 1:2000, com erro inferior a 34 cm segundo DSG (2016a, 2016b) e abaixo de 19,2 cm segundo a norma americana (ASPRS, 2023). Ou seja, ela atende aos padrões de qualidade posicional estabelecidos tanto pela norma brasileira (DSG, 2016a, 2016b) quanto pela norma americana (ASPRS, 2023), assegurando a confiabilidade dos dados geoespaciais produzidos.

Além de garantir a precisão necessária para o Cadastro Ambiental Rural (CAR), a metodologia tem implicações práticas significativas para a gestão territorial da propriedade ao possibilitar uma visualização mais precisa e integrada da área de estudo. Sua boa resolução espacial facilita a elaboração de mapas temáticos de uso e cobertura do solo, a identificação de culturas agrícolas, a delimitação de diferentes tipos de áreas (como APPs, reserva legal e áreas produtivas) e a geração de modelos digitais de superfície, ampliando as possibilidades de análise e planejamento. Em comparação com outros métodos, a redução de custos operacionais e a agilidade no processo de levantamento são benefícios diretos que podem ser aproveitados por cooperativas e associações rurais.

As cooperativas e associações rurais são determinantes para a vida dos pequenos produtores, pois oferecem suporte técnico, econômico e social, facilitando a sustentabilidade e o crescimento dessas comunidades (Christian et al., 2024). Ao unirem recursos e esforços, essas organizações podem adquirir equipamentos e contratar e treinar pessoal qualificado para realizar levantamentos cadastrais precisos. Esse apoio coletivo não apenas viabiliza o mapeamento cadastral rural com eficiência e menor custo, como também fortalece a capacidade dos pequenos produtores de atender às exigências legais e ambientais, de melhorar a gestão de suas propriedades e de aumentar sua competitividade.

No entanto, é essencial adquirir os equipamentos adequados e treinar os operadores apropriadamente para assegurar a replicabilidade e a eficiência do método em diferentes contextos rurais.

Do ponto de vista ambiental, a importância do cadastro é indiscutível, pois permite um monitoramento e um planejamento mais eficazes das propriedades rurais, contribuindo para a preservação e a recuperação de áreas ambientais importantes. Além disso, os ortofotomosaicos gerados podem ser muito úteis para os pequenos produtores rurais, auxiliando no planejamento agrícola, na gestão de recursos hídricos e na delimitação precisa das propriedades.

Apesar dos resultados positivos, a metodologia pode apresentar limitações em áreas com relevo acidentado, densa cobertura vegetal ou linha de base distante maior que 50 km da rede de marcos do IBGE, o que pode comprometer a qualidade do sinal GNSS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar uma solução inovadora e eficiente para o mapeamento cadastral voltada especificamente para o Cadastro Ambiental Rural (CAR). A metodologia proposta, que utiliza robôs de processo automatizado (RPA) equipados com Sistema de Posicionamento Global (GPS) e aplica o método RTK NTRIP com internet via satélite Starlink, mostrou-se eficaz na redução de custos, no aumento da eficiência, da precisão e da acurácia dos levantamentos, além de dispensar a necessidade de pontos de controle no solo.

Essa metodologia mostrou-se eficaz, oferecendo precisão centimétrica nas correções advindas do processo escolhido. Ela também proporcionou robustez e continuidade na transmissão de dados via internet Starlink, bem como uma significativa redução na necessidade de pontos de controle no solo. Além disso, a internet via satélite possibilitou operações em áreas remotas onde não há acesso à internet por outros meios.

Em suma, a metodologia proposta não apenas atende às exigências legais do Cadastro Ambiental Rural, como também oferece uma solução prática e eficiente para o mapeamento de propriedades rurais. A replicabilidade do método, aliada aos benefícios ambientais e econômicos, destaca seu potencial para transformar a gestão territorial e ambiental de pequenas propriedades rurais.

O trabalho também está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, contribuindo para diversos objetivos, incluindo agricultura sustentável, crescimento econômico, inovação, vida terrestre, paz, justiça e instituições eficazes, e parcerias para a implementação. A precisão e a eficiência do mapeamento cadastral obtidos pela metodologia proposta podem apoiar a gestão ambiental e territorial sustentável, promovendo a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento rural integrado, na medida em que tornam o mapeamento de alta precisão acessível.

Além de atender às exigências do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o ortofotomosaico gerado pela metodologia proposta tem potencial para ser utilizado no georreferenciamento de imóveis rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), embora seu uso seja limitado devido às exigências básicas previstas pelo instituto. A ausência de pontos de apoio terrestres apresentou desafios na validação

da qualidade posicional, sugerindo a necessidade de melhorias e complementações futuras para assegurar a precisão e a confiabilidade dos dados geoespaciais gerados.

A abordagem visa atender às exigências legais e de qualidade posicional e ser aplicável em diferentes contextos rurais. Além disso, a solução proposta evidencia sua replicabilidade por cooperativas e associações rurais, contribuindo para uma gestão ambiental mais sustentável e integrada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que, por meio do EDITAL PDSE Nº 30/2023, concedeu bolsa no exterior na modalidade Doutorado Sanduíche, possibilitando a realização deste trabalho. Agradecemos ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pela concessão do afastamento para capacitação do servidor, fundamental para a realização deste estudo. Agradecemos também à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e à Universidade de Jaén (UJA) por suas contribuições diretas e indiretas na elaboração deste documento.

REFERÊNCIAS

- ALCÁZAR-MOLINA, M. G. Análisis del modelo catastral en Marruecos y propuestas de mejora para un catastro moderno y multipropósito. **Topografía y Cartografía - Especial TOCART 2016 - XI Congreso Internacional de Geomática y Ciencias de la Tierra**, 2016. v. XXXIII, n. No171. 2016, p. 113–120. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7446768>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- ALI, Z.; TULADHAR, A.; ZEVENBERGEN, J. An integrated approach for updating cadastral maps in Pakistan using satellite remote sensing data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, ago. 2012. v. 18, p. 386–398. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.03.008>.
- AMIRQULOVICH, H. R.; NOSIROVICH, K. K.; KOMIL O'G'LI, J. N. American Journal of Interdisciplinary Research and Development. **USE OF REMOTE SENSING TECHNOLOGIES IN MAPPING OF AGRICULTURAL CROP TYPES**, 2023. v. 18, n. July, p. 75–80. Disponível em: <<https://www.ajird.journalspark.org/index.php/ajird/article/view/741>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- ASPRS. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. **ASPRS - Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data**, 2023. v. 1.0, n. 2. Disponível em: <<https://publicdocuments.asprs.org/PositionalAccuracyStd-Ed2-V1>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- ATAK, B. et al. Unmanned aerial vehicle (UAV)-based cadastral mapping accuracy analysis: a case study of Sarayköy, Konya. **Advanced UAV**, jun. 2024. v. 4, n. 1, p. 31–41. Disponível em: <<https://publish.mersin.edu.tr/index.php/uav/article/view/1527>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- BRASIL. DECRETO No 89.817, DE 20 DE JUNHO DE 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. 1984.
- LEI No 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (...)**. 2012 a.
- DECRETO No 7.830, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012. **Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural**. 2012 b.
- Portaria DECEA nº 928/DNOR8 – ICA 100-40, de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/ajuste-01/cartografia/divcar/2020/07-ica_100-40_trafegoaereo_22_12_2016.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2025.
- BRITO, F. L.-C. D.; PALHARES, A. A.; NERO, M. A. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DOS DADOS DE USO DO SOLO CADASTRADOS NO CAR: ESTUDO DE CASO MARIANA/MG. **Caminhos de Geografia**, 30 abr. 2024. v. 25, n. 98. <https://doi.org/10.14393/RCG259869513>.
- CHRISTIAN, M. et al. The Role of Cooperatives in Improving Smallholder Participation in Agri-Food Value Chains: A Case Study of One Local Municipality in Eastern Cape, South Africa. **Sustainability**, 7 mar. 2024. v. 16, n. 6, p. 2241. <https://doi.org/10.3390/su16062241>.

- DELIRY, S. I.; AVDAN, U. Accuracy of Unmanned Aerial Systems Photogrammetry and Structure from Motion in Surveying and Mapping: A Review. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, ago. 2021. v. 49, n. 8, p. 1997–2017. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01366-x>.
- DSG, D. Do S. G. PORTARIA No 009-DCT, DE 10 DE FEVEREIRO DE 2016. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. 2016 a.
- PORTARIA No 031-DCT, DE 2 DE MAIO DE 2016. **Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de defesa da Força Terrestre (ET-ADGV Defesa F Ter)**. 2016 b.
- FAGUNDES, F. N.; BORGES, A. C. G. Dinâmica territorial agropecuária e utilização das terras atuais no escritório de desenvolvimento rural de são joão da boa vista. **GEOSABERES**, 2015. v. 6, n. 2, p. 178–192. Disponível em: <<http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/422>>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- HE, G. B.; LI, L. L. RESEARCH AND APPLICATION OF LIDAR TECHNOLOGY IN CADASTRAL SURVEYING AND MAPPING. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 6 ago. 2020. v. XLIII-B1-2020, p. 33–37. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-33-2020>.
- HUI, Mingming et al. A review of leo satellite communication payloads for integrated communication, navigation, and remote sensing: Opportunities, challenges, future directions. **IEEE Internet of Things Journal**, 2025. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2025.3553942>.
- KASSAS, Z. M. et al. **Enter LEO on the GNSS Stage: Navigation with Starlink Satellites**. [S.l.]. 2021. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/9td3n8wd>>. Acesso em: 28 jun. 2024.
- KASSAS, Z. M. et al. Towards Navigation with Non-Cooperative LEO Satellites: Resolving Ephemeris and Timing Errors. In: **2025 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)**. IEEE, 2025. p. 796-801. <https://doi.org/10.1109/PLANS61210.2025.11028189>.
- LEPOGLAVEC, K. et al. Correct Calculation of the Existing Longitudinal Profile of a Forest/Skid Road Using GNSS and a UAV Device. **Forests**, 6 abr. 2023. v. 14, n. 4, p. 751. <https://doi.org/10.3390/f14040751>.
- MENDES, R. M. et al. REGULARIDADE AMBIENTAL DAS ÁREAS DE RESERVA LEGAL DO CERRADO BRASILEIRO. **Caminhos de Geografia**, 4 fev. 2022. v. 23, n. 85, p. 330–349. <https://doi.org/10.14393/RCG259869513>.
- NWILAG, B. D.; EYOH, A. E.; NDEHEDEHE, C. E. Digital topographic mapping and modelling using low altitude unmanned aerial vehicle. **Modeling Earth Systems and Environment**, jun. 2023. v. 9, n. 2, p. 1463–1476. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01677-z>.
- PARANHOS FILHO, A. C. et al. **Cap.9 - GNSS/GPS (Geotecnologias para aplicações ambientais)**. 1. ed. [S.l.]: Uniedusul Editora, 2021.
- RAMOS, M. De P. **Geotecnologia em Perícias Ambientais e na Análise da Qualidade da Água: Estudos nos Reservatórios de Abastecimento Público da Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG**. Belo Horizonte/MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. Dissertação. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/36589>>.
- ROSENFELDT, Y. A. Z. **INTEGRAÇÃO DA GEODÉSIA, DA FOTOGRAMETRIA E DA FOTOINTERPRETAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE SISTEMA CADASTRAL PARA VIABILIZAR A REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA PLENA**. [S.l.]: [s.n.], 2016. Tese. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/174294>>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- RUIZ-LENDINEZ, J. J. et al. Aplicación de metodologías geomáticas a la reforma y modernización del sistema catastral en Polonia. **Topografía y Cartografía - Especial TOCART 2016 - XI Congreso Internacional de Geomática y Ciencias de la Tierra**, 2016. v. XXXIII, n. No171. 2016, p. 17–26. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7446756>>.
- SANTOS, A. D. P. et al. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, dez. 2016. v. 22, n. 4, p. 630–650. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000400036>.

SFB, S. F. B. **ANALISARCAR – Análise dinamizada do Cadastro Ambiental Rural**. Brasília: - DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ferramenta-de-analise-dinamizada-vai-agilizar-a-verificacao-dos-dados-do-car-pelos-estados/CartaInformativa_AnalisaCAR1.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

Boletim informativo - CAR. Brasília: - DF, 2023. Disponível em: <https://www.car.gov.br/manuais/Boletim_Informativo_Outubro_de_2023.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2024.

SILVA, J. A. R. M. et al. Gestão da Inovação no Processo de Aerolevantamento Territorial: Proposição de Marco Regulatório para Criação de Cadastro Multifinalitário em Cidades de Médio Porte. **Revista**, 28(131), 88, 4 fev. 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10615488>.

SIMÕES, D. D.; BORGES, L. A. C. ANÁLISE DA ADEQUAÇÃO DO CADASTRO AMBIENTAL RURAL (CAR) EM ASSENTAMENTOS FEDERAIS DO MARANHÃO, BRASIL. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 26, n. 104, p. 221–238, 2025. <https://doi.org/10.14393/RCG2610475265>.

SOUZA, J. G.; NASCIMENTO, R. F. do; GEBARA, J. J. Mercados de terras no estado de São Paulo: determinações de preços pós-plano real. **GEOSABERES**, 2012. v. 3, n. 6, p. 40–49. Disponível em: <<http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/119>>. Acesso em: 12 jul. 2024.

TAO, Yanhua et al. Satellite Selection Strategy and Method for Signals of Opportunity Navigation and Positioning with LEO Communication Satellites. **Sensors**, v. 25, n. 1, p. 267, 2025. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/25/1/267>>. Acesso em: 02 jul. 2024.

TEIXEIRA, N. D. C. et al. Avaliação da exatidão cartográfica e temática com o uso de drone. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 1 out. 2023. v. 16, n. 5, p. 2858–2867. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2858-2867>.

TEPPATI L., L.; CHIABRANDO, F.; GIULIO T., F. Are Measured Ground Control Points Still Required In Uav Based Large Scale Mapping? Assessing The Positional Accuracy of an RTK Multi-Rotor Platform. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 6 ago. 2020. v. XLIII-B1-2020, p. 507–514. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020-507-2020>.

ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; SANTOS, A. P. Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 359–390, 31 mar. 2018. <https://doi.org/10.14393/rbcv70n1-45259>.

Recebido em: 23/10/2024

Aceito para publicação em: 18/08/2025