

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.

João Sérgio Queiroz de LIMA, Adhler Rouvanni Torres Martins COSTA, Ana Carla Queiroz PAIVA, Charles Benedito Gemaque SOUZA, Davi Diniz Silva MARCELINO, Elizete de Oliveira SANTOS, Antônio Borges da SILVA e Rebecca Nogueira LOPES, Brasil.

Key words: Remotely piloted aircraft systems, Multipurpose cadastre, City of Fortaleza, Brazil

SUMMARY

This study analyzes the potential application of geospatial technologies, with an emphasis on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), in the territorial management of the city of Fortaleza, Ceará, Brazil. The research addresses how the acquisition of primary data with geodetic and cartographic precision, through RPAS, can serve as a fundamental input for the modernization of the Municipal Real Estate Cadastre, driving its evolution towards a comprehensive Multipurpose Technical Cadastre (CTM). To ensure the reliability and legal certainty of this data, the study highlights the importance of strict technical standards, such as the Cartographic Accuracy Standard (PEC). The analysis covers the complete workflow, from flight mission planning to the generation of digital cartographic products, such as orthomosaics and 3D point clouds, which are essential for representing urban reality. The article also discusses the suitability of the CTM to international standards, such as the Land Administration Domain Model (LADM) and 3D Land Administration (3DLA), as well as the legal and institutional challenges that need to be overcome in the Brazilian context for the full implementation of this approach. It is concluded that the strategic adoption of these geospatial technologies, when aligned with a rigorous methodology and an adequate normative framework, represents a leap in the quality of urban governance, promoting a fairer and more sustainable territorial development. The pilot project carried out in Fortaleza, despite its methodological limitations, serves as a proof of concept of the technology's potential for public management.

Palavras-chave: Sistemas de aeronaves pilotadas remotamente, Cadastro territorial multifinalitário, Cidade de Fortaleza, Brasil

RESUMO

O presente estudo analisa o potencial de aplicação de geotecnologias, com ênfase em sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), na modernização do Cadastro Imobiliário Municipal da cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. Aborda-se como a aquisição de dados

1

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

FIG Brazil Joint Land Administration Conference (3DLA2025, UN-Habitat STDm, FIG Commissions 7+8 AM) 3-5 November 2025, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil

primários com precisão geodésica e cartográfica, por meio de RPAS, pode impulsionar o desenvolvimento de um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM). Destaca-se a importância de rigorosos padrões técnicos, como o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), para garantir a confiabilidade e a segurança jurídica dos dados geoespaciais produzidos. Apresenta-se um fluxo de trabalho completo, desde o planejamento da fase aeroespacial até o processamento de produtos cartográficos digitais, como ortomosaicos e nuvens de pontos 3D, fundamentais à representação do território. Discute-se ainda a adequação do CTM a padrões internacionais, como o *Land Administration Domain Model* (LADM) e a *3D Land Administration* (3DLA), assim como os desafios legais e institucionais a serem superados no contexto brasileiro. Conclui-se que o uso das geotecnologias, quando amparadas em uma metodologia consistente e em um conjunto normativo adequado, representa uma excepcional qualificação na governança urbana. O projeto piloto realizado em Fortaleza, apesar de suas limitações metodológicas, serve como uma prova de teste e calibração do potencial da tecnologia para a administração pública.

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil.

João Sérgio Queiroz de LIMA, Adhler Rouvanni Torres Martins COSTA, Ana Carla Queiroz PAIVA, Charles Benedito Gemaque SOUZA, Davi Diniz Silva MARCELINO, Elizete de Oliveira SANTOS, Antônio Borges da SILVA e Rebecca Nogueira LOPES, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A gestão territorial é uma atividade complexa e fundamental para as administrações públicas municipais, especialmente em metrópoles regionais, como a Cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará (Figura 1). Destacando-se como o quarto maior centro urbano do país e maior economia da região Nordeste do Brasil, a capital cearense enfrenta desafios históricos de desigualdade socioespacial, intensificados por uma significativa dinâmica imobiliária. Nesse cenário, o cadastro imobiliário supera sua função meramente fiscal, constituindo-se como ferramenta basilar para o planejamento urbano e a formulação de políticas públicas eficazes, possibilitando o saneamento de desatualizações cadastrais e a inclusão de múltiplas fontes de informações, integrando dados e inserindo grupos sociais tradicionalmente excluídos de políticas públicas. Além disso, sua precisão é essencial para a promoção da justiça fiscal, garantindo a correta aplicação de tributos como o IPTU (imposto predial e territorial urbano) e o ITBI (imposto sobre transmissão de bens imóveis) e assegurando a distribuição equitativa do ônus tributário. A obrigatoriedade da inscrição dos imóveis neste cadastro, aliás, está devidamente prescrita na legislação municipal, como o Código Tributário (Lei Complementar nº 159/2013) e seu Regulamento (Decreto nº 13.716/2015).

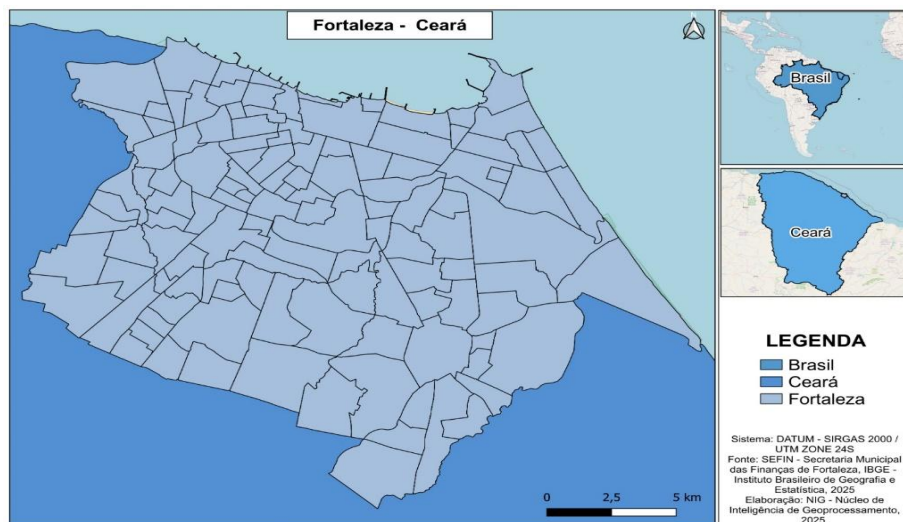


Figura 1. Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil: localização

A concepção de cadastro territorial mais atualizada o destaca como uma infraestrutura de dados com indispensável componente geoespacial, integrando informações sociais, econômicas, ambientais, jurídicas, fiscais, imobiliárias e de infraestruturas, dedicada à governança pública urbana, como explicam Dale & McLaughlin, (1999), Loch & Erba (2007) e Williamson et al. (2010). Mesmo de reconhecida importância para a gestão territorial, os cadastros públicos apresentam problemas recorrentes relacionados à sistemática de atualização e de qualificação quanto à representação dos dados, constatando-se discrepâncias entre a realidade de fato do território e os elementos temáticos registrados.

A aquisição de dados territoriais em massa depende de métodos bastante onerosos, geralmente realizados por sensoriamento remoto aerofotogramétrico realizado por levantamentos aéreos tripulados, com processamento dos dados realizado em períodos longos de tempo e com o dispêndio de grande quantidade de recursos humanos necessariamente qualificados, o que também eleva os custos para as administrações públicas para qualificar e atualizar os registros cadastrais. Como consequência, têm-se obstáculos recorrentes ao planejamento urbano adequado e arrecadação de recursos decorrentes de tributos abaixo do potencial previsto, comprometendo os investimentos e as políticas públicas urbanas em favor da municipalidade. Enveredando em soluções para as dificuldades de atualização e qualificação dos cadastros territoriais, as administrações públicas têm investido nas denominadas geotecnologias, um conjunto de ferramentas que auxiliam a cartografia digital no geoprocessamento de dados geoespaciais para a produção de informações temáticas sobre o território. Nesse contexto, as geotecnologias incluem o Sensoriamento Remoto, o Sistema de Posicionamento Global (GNSS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), compondo a base técnica para a transformação de dados brutos em conhecimento espacial aplicado (Longley et al., 2015). A efetividade de qualquer análise em um SIG, no entanto, está intrinsecamente ligada à qualidade, resolução e atualidade dos dados de entrada. Considerando os desafios de atualização cadastral, o advento dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) representa um avanço tecnológico promissor para superar as limitações na produção de dados geoespaciais de alta resolução (Nex & Remondino, 2014, Neves, 2018, Mbarga et al., 2024).

Capazes de operar a baixas altitudes com sensores de alta precisão, os RPAS oferecem uma plataforma de sensoriamento remoto de proximidade que permite a coleta de dados com resolução centimétrica de forma ágil e com um custo significativamente mais baixo, preenchendo assim uma lacuna tecnológica, de acordo com Nex; e Remondino (2014) e Neves (2018). Essa capacidade de aquisição de dados primários com precisão geodésica e cartográfica se tornou um insumo fundamental, complementar às campanhas aéreas tripuladas, para a modernização do Cadastro Imobiliário Municipal, impulsionando sua evolução para um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), assim como abordado por Jesus e Fuckner (2020).

O presente artigo busca analisar o potencial da aplicação de geotecnologias associadas aos RPAS no âmbito da gestão territorial do Município de Fortaleza, buscando demonstrar como essa integração pode impulsionar a transição do cadastro atual para um CTM em três dimensões (3D). O escopo da pesquisa posiciona a tecnologia como uma solução estratégica para resolver problemas fundamentais de governança e planejamento urbano, impulsionados pela evolução do arcabouço normativo e pela crescente complexidade das cidades. A análise busca articular a inovação tecnológica à melhoria da gestão pública na superação da desatualização cadastral,

4

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

resultando no adequado planejamento com base na realidade fática do território da cidade, qualificando as políticas públicas, baseadas em dados.

2. CADASTRO TERRITORIAL NO BRASIL

Os cadastros territoriais, como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são fundamentais para a gestão pública de espaços urbanos, sobretudo os de grande complexidade e com rápidas mudanças, como as metrópoles brasileiras, onde os modelos cadastrais pioneiros foram concebidos sem georreferenciamento adequado, com base em representações bidimensionais (2D) e com prioridade fiscal. Tais modelos demonstraram-se insuficientes para contemplar a realidade contemporânea de cidades densamente edificadas, com grande diversidade de tipologias imobiliárias e de infraestruturas e com elevada verticalização. Necessariamente, a ideia de **Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)** emergiu no contexto da administração territorial urbana como uma possibilidade pela maior abrangência, qualidade e integração de informações básicas e temáticas, como destacam Loch & Erba (2007), Van Oosterom et al. (2011), Erba (2015), Ferreira, Farias e Oliveira, (2018) e Jesus & Fuckner (2020).

O CTM propõe a integração de uma grande variedade de dados sociais, econômicos, jurídicos, naturais, ambientais, imobiliários, tributários, de infraestruturas, entre outros, dentro de sistemas territoriais públicos, abordando múltiplas dimensões, subsidiando, principalmente, o planejamento urbano e o desenvolvimento sustentável. Trata-se de um aprimoramento conceitual e metodológico, que confirma a ferramenta como essencial à governança pública, baseado em evidências, conforme apontam Dale e McLaughlin (1999), Williamson et al. (2010), Enemark (2019), Paixão (2021), Reginato, Almeida & Barros (2020) e Silva & Antunes (2020). De acordo com Neves (2018), esse modelo moderno de cadastro apresenta desafios relacionados à interoperabilidade entre as bases de dados entre diferentes dimensões administrativas e entidades temáticas, assim como entre instituições de diferentes regiões e países. Nesse contexto, as geotecnologias apresentam um significativo potencial para a integração de dados e informações qualificadas, como o exemplo das **Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE)**, representando um conjunto integrado de políticas, normas, planos, métodos, técnicas e recursos, com o intuito de coordenar a organização, publicação, disponibilização e utilização de dados geoespaciais, como a **Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE)** no Brasil, que promove a interoperabilidade, integrando bases e operações, democratizando o acesso às informações qualificadas.

Nesse contexto, o Município de Fortaleza se posiciona em destaque pela modernização da sua gestão cadastral e territorial, evidenciado na Infraestrutura de Dados Espaciais da Secretaria das Finanças (IDE-SEFIN), que disponibiliza publicamente informações qualificadas sobre o território municipal, as mesmas utilizadas no Sistema de Informações Territoriais (SITFOR), de caráter cadastral imobiliário, necessariamente georreferenciado e com potencial multifinalitário, se configurando como a base para adesão facilitada do município ao Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER) e ao Cadastro Imobiliário Brasileiro (CIB), dispostos no Decreto n.º 11.208/2022.

Além do documento que rege o SINTER e o CIB, a legislação brasileira vem desenvolvendo a temática do cadastro territorial com inovações conceituais que se articulam à normatização

5

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

técnica, como explicam Coelho et al. (2025), destacando a Portaria nº 3.242/2022 do Ministério do Desenvolvimento Regional, em consonância com a ABNT NBR 17047 (2022), que apontam diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros e regulamentam o padrão de trabalhos técnicos e procedimentos para o levantamento cadastral territorial para registros públicos, contemplando imóveis urbanos e rurais (Quadro 1).

Entre as inovações conceituais significativas, Gonçalves et al. (2024) ressaltam a distinção entre “parcela certificada” e “parcela não certificada”. A primeira é definida pela precisão posicional planimétrica de até 8 cm conferida para os vértices que delimitam a poligonal do imóvel alvo, com apoio geodésico e topográfico. A segunda se alcança com menor precisão, através de métodos de georreferenciamento com precisão variável, ou obtidas em bases cartográficas já estabelecidas. Ao considerar os dois padrões de precisão para elementos aceitáveis como insumos para a base cadastral, reconhece-se a diversidade territorial urbana e facilita as rotinas cadastrais, sem dispensar a qualidade dos procedimentos para captura de dados da realidade. Outra inovação é o conceito de “*objeto territorial*”, que se define como uma porção de terra, com espacialização bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), cujos limites apresentam condições homogêneas físicas (edificações e infraestruturas) e legais (direitos, restrições, zoneamentos, unidades administrativas), utilizada no contexto de cadastros territoriais multifinalitários, com o intuito de registrar dados temáticos diversos sobre o território, de forma a estruturar sistemas de informações geográficas (SIG). Teixeira Coelho et al. (2025) abordam que esse instrumento simplifica a representação cartográfica ao tratar regimes jurídicos distintos como atributos anexados à parcela, eliminando a necessidade de subdividir uma única propriedade em múltiplas parcelas com diferentes regimes jurídicos, e Santos et al. (2025) explicam que essa abordagem converge com modelos internacionais de administração de terras, como o **LADM (ISO 19152)**.

Quadro 1. Portaria nº 3.242/2022 e NBR 17047-2022: inovações conceituais. Fonte: Elaborado com base nos documentos citados.

Característica	Portaria nº 3.242/2022 e NBR 17047-2022
Conceito de Parcela	Parcela como unidade de referência; conceito de "objeto territorial" para representar direitos, restrições e responsabilidades.
Precisão Posicional	Precisão posicional planimétrica com padrão de 8 cm; coexistência de "parcelas certificadas" e "não certificadas".
Flexibilidade e Inclusão	Inclusão de bases de dados existentes e de levantamentos com precisão variável ("parcelas não certificadas"); cadastro mais inclusivo.
Representação Gráfica	Conceito de "objeto territorial" simplifica a representação de direitos e restrições; possibilidade de uma abordagem híbrida 2D/3D.
Integração de Dados	Flexibilidade: integração de dados de diversas fontes e precisões; interoperabilidade em uma infraestrutura de dados espaciais (IDE).

Acurácia e confiabilidade métrica e posicional dos dados geoespaciais que representam o território no CTM aprofundam-se em importância para delimitação de parcelas e objetos territoriais, conforme disposto na legislação atualizada sobre cadastro no Brasil, principalmente para a adesão aos modelos internacionais de administração de terras que incorporam cenários

com feições tridimensionais. Nesse ínterim, evidencia-se o potencial das geotecnologias emergentes associadas aos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*). Empenhadas para o sensoriamento remoto aerofotogramétrico sobre o território das cidades, realiza a captura da realidade com alta precisão, quando em atendimento a padrões técnicos e normativos rigorosos.

As geotecnologias associadas aos RPAS exibem sua importância os cadastros territoriais ao disponibilizar meios complementares para aquisição de dados geoespaciais de forma ágil e qualificada, atendendo aos dispositivos do **Sistema Cartográfico Nacional (SCN)** e do **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984**, que apontam o **Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)** como principal indicador estatístico para aferir a acurácia de trabalhos cartográficos (Brasil, 1984). Posteriormente regulamentado para produtos cartográficos digitais pela **ABNT NBR 14166 (2019)**, O PEC estabelece os limites de erro aceitáveis para a posição planimétrica e altimétrica das feições, conferindo-lhes confiabilidade, a partir da classificação da exatidão em seis classes, da mais restritiva (Classe A) para a menos restritiva (Classe E) (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019).

Segundo ensinam Fuckner et al. (2021) e Siqueira et al. (2020), o enquadramento na **Classe A**, considerando um mapa na escala 1:1.000, é indispensável para a representação com precisão de edificações, infraestruturas e lotes urbanos, sendo referência como o padrão ideal para um cadastro multifinalitário (Quadro 2). Explicam Fuckner et al. (2021) e Cáceres et al. (2022) que a comprovação do atendimento do produto cartográfico ao PEC é realizada por meio de relatórios técnicos que atestam a acurácia posicional por meio de pontos de verificação independentes e que essa validação é indispensável para integração desse produto de forma confiável a outras bases de dados, garantindo interoperabilidade. A validade legal e técnica dos insumos cadastrais, ou seja, dados geoespaciais obtidos e produtos cartográficos decorrentes, dependem do atendimento estrito aos padrões normativos pela geotecnologia utilizada, o que se confere na concepção dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e sua funcionalidade especial de sensoriamento remoto, fotogrametria e mapeamento básico e temático, com o consequente tratamento das imagens aéreas de alta precisão através do processamento digital em programas computacionais especializados.

Quadro 2. Classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) segundo a ABNT NBR 14166. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 14166 (ABNT, 2019, Siqueira et al., 2020).

Classe de Acurácia	PEC Planimétrico	PEC Altimétrico
Classe A	0,5 mm × escala do mapa	0,5 × equidistância entre curvas de nível
Classe B	0,8 mm × escala do mapa	0,6 × equidistância entre curvas de nível
Classe C	1,0 mm × escala do mapa	0,75 × equidistância entre curvas de nível

3. RPAS NA PRODUÇÃO DE DADOS CADASTRAIS

A produção de dados geoespaciais de alta precisão com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) para um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) deve seguir um fluxo de trabalho técnico-científico rigoroso, iniciado

7

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

com a definição dos objetivos cadastrais, delimitação da área objeto do mapeamento, organização da logística para atividade de campo, preparação dos recursos materiais (equipamentos especializados) e definição dos recursos humanos necessários (equipe técnica operacional). O planejamento integral da operação contempla as atividades de georreferenciamento, a fase aeroespacial, para coleta dos dados brutos (Originais de Aerolevanteamento) e a fase de processamento digital das imagens aéreas coletadas, para obtenção Produto Cartográficos Digitais (Produtos Decorrentes do Aerolevanteamento)

O planejamento da missão aerofotogramétrica deve ser elaborado para garantir a acurácia e precisão posicional e geométrica exigidas para a restituição de feições de imóveis urbanos, delimitação de lotes e representação de edificações em três dimensões (3D), utilizados como insumos cadastrais, atendendo requisitos legais e técnicos, notadamente ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para Produtos Cartográficos Digitais (PCD). Como principais parâmetros, destacam-se a sobreposição das imagens e os relacionados ao voo: janela (período do dia), altitude e velocidade.

A altitude de voo está diretamente atrelada à Resolução Espacial do Solo ou GSD (*Ground Sample Distance*), que quantifica o tamanho de um pixel da imagem na superfície do terreno, funcionando como um indicador direto do nível de detalhamento que será capturado. Para o mapeamento cadastral de alta precisão, especialmente em ambientes urbanos, onde a identificação de limites de propriedade, infraestruturas e elementos construídos é demandado especialmente, a adoção de um GSD centimétrico, preferencialmente inferior a 5cm é fortemente recomendável. Essa granularidade permite que detalhes finos, como meios-fios, muros, marcas de calçada e vértices de edificações, sejam nitidamente distinguíveis. Para alcançar tal precisão, o RPAS deve voar em altitudes mais baixas, em estrita conformidade com as regulamentações aéreas locais e as normas de segurança. O ajuste preciso da altitude em função das características da câmera e do GSD desejado é um ato de calibração técnica que garante a qualidade dos dados brutos, em atendimento aos rigorosos padrões de acurácia exigidos para a certificação de parcelas e o uso legal no cadastro.

A definição da janela de voo para o mapeamento de alta precisão deve considerar condições ideais de iluminação e meteorologia. Geralmente, o período compreendido entre 10h e 14h é o mais adequado, pois o sol está em uma posição elevada, o que resulta em sombras mais curtas e menos pronunciadas. A ausência de sombras longas é recomendada para evitar obscurecer detalhes de fachadas, limites de lotes e feições importantes no solo, comprometendo o alinhamento das imagens e a precisão do modelo 3D. Além da posição solar, as condições meteorológicas são determinantes: céus com poucas ou nenhuma nuvem garantem uma iluminação uniforme em toda a área de interesse, evitando variações de brilho e contraste que dificultam o processamento. A baixa velocidade do vento assegura a estabilidade do voo e evita o "efeito borrão" ou *motion blur* nas imagens, garantindo a nitidez necessária para a posterior identificação de pontos de controle e a reconstrução geométrica detalhada, fatores que também devem ser considerados quanto à excessiva velocidade de voo do RPAS. Por outro lado, uma velocidade muito baixa prolonga o tempo de voo, consumindo a bateria e expondo o equipamento a ventos laterais que podem prejudicar a estabilidade da trajetória. A velocidade ideal é calculada com base na altitude de voo, no tempo de exposição da câmera e no intervalo entre as capturas de imagem. Ajustar esses parâmetros em conjunto garante que a aeronave voe em um ritmo que permita a obtenção de fotografias nítidas, com a sobreposição necessária e

em um tempo otimizado, assegurando a acurácia e a integridade dos dados para aplicações de alta precisão.

A sobreposição de imagens é um dos pilares da aerofotogrametria com RPAS. Ela se refere à porcentagem de área comum entre fotos consecutivas na mesma faixa de voo (sobreposição longitudinal ou frontal) e entre fotos de faixas adjacentes (sobreposição lateral). Essa redundância visual é a essência do método Estrutura a partir do Movimento (SfM), pois é a sobreposição que permite ao software identificar e rastrear pontos de interesse em múltiplas imagens. Para o mapeamento de alta precisão em ambientes complexos, como áreas urbanas, recomenda-se uma sobreposição longitudinal mínima de 80% e lateral de 70%. Níveis elevados de sobreposição garantem que cada ponto do terreno seja capturado por um número maior de imagens e de diferentes ângulos, o que fortalece a triangulação e a reconstrução geométrica. Essa abundância de dados é crucial para a geração de uma nuvem de pontos densa e para a correta modelagem de estruturas verticais, como fachadas de edifícios e divisas físicas. Uma sobreposição inadequada pode resultar em insuficiência de dados no modelo, distorções nas bordas das imagens e uma acurácia inferior, comprometendo a qualidade final dos produtos e sua validade para aplicações cadastrais.

Na parametrização relacionada à produção de dados geoespaciais com RPAS, o georreferenciamento é uma etapa fundamental. O processo se inicia com a utilização de equipamentos de alta precisão para recepção de sinais do Sistema Global de Navegação por Satélite - GNSS (*Global Navigation Satellite System*), empregando o método RTK (*Real-Time Kinematic*) com o protocolo NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*). Essa abordagem integrada permite a correção em tempo real dos sinais GNSS por meio de uma conexão com uma rede de estações de referência ativa, a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). A correção instantânea busca a significativa acurácia das medições para rigor posicional, com precisão centimétrica ou até milimétrica, adequado ao cadastro. A coordenada planimétrica é referenciada ao SIRGAS 2000, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, e a altimétrica ao Datum Vertical de Imbituba, seguindo o padrão oficial do Brasil.

Na atividade em campo, a acurácia é garantida pela implantação de Pontos de Controle no Terreno - GCP (*Ground Control Point*) e de Pontos de Checagem (*Check Points*), com base no planejamento do voo. A medição das coordenadas desses pontos é feita com equipamentos GNSS de alta precisão. Os Pontos de Controle (GCP) são alvos visíveis, ou foto-identificáveis, como marcações com padrões definidos, instalados em pontos bem distribuídos dentro da área de cobertura do voo. Esses pontos precisam ser bem identificados nas imagens capturadas pelos sensores do RPAS. Os GCP servirão como “amarrações” do modelo fotogramétrico, permitindo que o processamento alinhe os produtos cartográficos digitais (modelos 2D e 3D) com as coordenadas geodésicas reais. Os Pontos de Checagem (*Check Points*) são alvos semelhantes aos GCP, mas não são utilizados no processamento fotogramétrico. A função deles é validar a acurácia do modelo final. Sua posição deve ser conhecida com precisão e eles não podem ser usados no cálculo inicial, servindo para a verificação de qualidade.

Com o planejamento e a implantação dos pontos concluídos, o RPAS realiza o voo de forma autônoma, capturando as imagens de acordo com o padrão de sobreposição definido. Após o voo, as imagens são baixadas juntamente com os dados de posicionamento da câmera (coordenadas brutas). No Processamento Fotogramétrico as imagens são processadas em um

software especializado. Para o Alinhamento das Fotos, o software utiliza o algoritmo de Estrutura a partir do Movimento (SfM) para identificar pontos de interesse em cada imagem e criar um modelo esparso da cena. Esse processo determina a posição e orientação relativas de cada câmera no momento da captura.

Na etapa de inserção dos GCP, as coordenadas precisas dos pontos, obtidas com o GNSS, são inseridas no software. Cada GCP é manualmente identificado em, no mínimo, três imagens diferentes para garantir redundância e precisão. O software usa essas coordenadas para georreferenciar o modelo esparso, transformando-o de um sistema de coordenadas local e "flutuante" para um sistema de coordenadas geodésico absoluto. Com o modelo georreferenciado, o software refina o alinhamento e gera uma nuvem de pontos 3D densa, que representa com alta fidelidade a geometria do terreno e das construções. A partir da nuvem de pontos densa, são gerados os produtos cartográficos principais, como o ortomosaico (imagem com distorções geométricas corrigidas) e os Modelos Digitais de Elevação, de Superfície (MDS) e do Terreno (MDT).

O Controle de Qualidade e Análise de Acurácia são realizados após a geração dos produtos, com a utilização dos Pontos de Checagem. A posição de cada Ponto de Checagem é medida nos produtos gerados e comparada com as coordenadas de referência medidas em campo. A diferença entre as coordenadas medidas nos produtos e as coordenadas de referência é o erro posicional. A análise desses erros, calculando o Erro Quadrático Médio (RMSE), permite determinar a acurácia do produto final. Essa etapa de verificação é fundamental para validar a qualidade do georreferenciamento e garantir que o produto final atende aos requisitos de acurácia estabelecidos para o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), garantindo o uso dos dados para o cadastro.

O processamento digital fotogramétrico, que se inicia com o georreferenciamento, transforma um conjunto de imagens aéreas em produtos cartográficos digitais de alta acurácia, indispensáveis para o mapeamento cadastral urbano, com base nos requisitos da legislação cartográfica e cadastral brasileira, utilizando-se de programas computacionais especializados através de algoritmos sofisticados, como o Agisoft Metashape e o DJI Terra.

O ortomosaico é um dos produtos mais amplamente utilizados. Trata-se de uma imagem georreferenciada de altíssima resolução, construída pela fusão de centenas ou até milhares de fotografias aéreas individuais. Diferentemente de uma foto aérea convencional, o ortomosaico é ortorretificado, ou seja, todas as distorções geométricas e de perspectiva causadas pelo terreno e pela inclinação da câmera são corrigidas. O resultado é uma imagem que representa a superfície da Terra de forma precisa, reduzindo deformações, como se tivesse sido vista de uma perspectiva perfeitamente vertical e infinita. Sua utilidade é imensa para a interpretação visual, a vetorização de feições, o mapeamento de limites de lotes e a análise de cobertura do solo.

A nuvem de pontos densa (3D) é a representação mais bruta e detalhada da geometria da cena. É um conjunto massivo de pontos georreferenciados (x, y, z) que reproduz com fidelidade a forma e a elevação de cada objeto e da superfície do terreno. Cada ponto na nuvem carrega informações de cor, permitindo a visualização da cena em três dimensões. A nuvem de pontos é a base para a extração de medições lineares, de área e de volume, sendo um recurso primordial para o planejamento de obras, a análise de declividade e a modelagem 3D. Em um contexto cadastral, a nuvem de pontos permite a restituição tridimensional de edifícios, infraestruturas e limites de parcelas, oferecendo uma perspectiva completa e precisa do ambiente urbano.

10

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

Complementando a nuvem de pontos, os modelos digitais de elevação fornecem uma representação da topografia contínua e “rasterizada” (formato de imagem digital composto por uma grade de pixels). Existem duas categorias principais: o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). O MDT representa a elevação baseado na geomorfologia, com a remoção de todos os objetos acima do solo, como árvores e edificações. Sua geração exige um processo de filtragem da nuvem de pontos densa para isolar apenas os pontos que representam o relevo. O MDS representa a elevação de todos os objetos visíveis na superfície, incluindo o terreno, as copas das árvores, edifícios e infraestruturas. A diferença entre o MDS e o MDT, em uma determinada área, revela a altura das edificações e da vegetação, um dado valioso para análises urbanísticas, por exemplo, mas permite também uma compreensão abrangente da realidade do ambiente mapeado, importante para a gestão territorial. No contexto do cadastro imobiliário do Município de Fortaleza, na fase do processamento fotogramétrico dos dados coletados com RPAS, busca-se produzir informações com acurácia e validade técnica para fins de gestão territorial e fiscal, sintetizadas nos seguintes produtos cartográficos: Ortomosaico Verdadeiro (TDOM); Nuvem de Pontos Densificada; Modelo Tridimensional Texturizado; Curvas de Nível e Modelos Digitais de Elevação, com amostrar representadas na figura 2. As atividades apoiam-se com maior frequência no software DJI Terra (DJI, c. 2024), a partir de dados obtidos com RPAS dos modelos DJI Mavic 3E e DJI Matrice 350 RTK, equipados com sensores RGB e LiDAR.

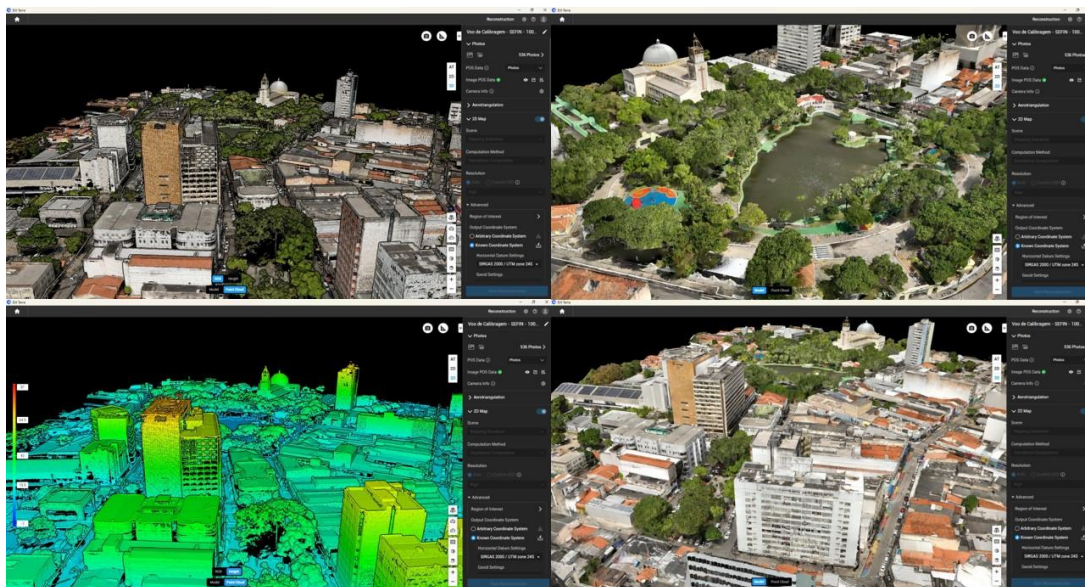


Figura 2. Amostra de produtos cartográficos digitais gerados para o Cadastro Imobiliário do Município de Fortaleza: bairro Centro

Sequencialmente, o processo se inicia com a verificação dos dados brutos coletados em campo, o que inclui tanto as imagens quanto os pontos de apoio (de controle e checagem). A inspeção da qualidade das imagens abrange a análise da exposição, uniformidade de cores e nitidez. A checagem dos metadados de posicionamento e orientação (POS), angulação e possíveis falhas de captura é crucial para a integridade do projeto. Paralelamente, é realizada a análise dos

pontos de apoio, verificando a acurácia posicional, a completude dos dados, o sistema de referência e a distribuição estratégica na área do terreno. Para essa etapa, softwares como o QGIS e o *Google Sheets* podem ser utilizados para uma análise inicial e visualização (Turner et al., 2014).

Em seguida, as imagens são carregadas no software por meio do menu de importação. Após o carregamento, se analisar o posicionamento das imagens e verifica-se as possíveis falhas de leitura nos dados POS, que possam ocasionar o posicionamento incorreto das imagens no mapa de pré-visualização. Caso os dados sejam carregados com sucesso e o posicionamento esteja dentro do esperado, procede-se para a aerotriangulação das imagens. Essa é uma etapa crucial do processamento, pois, através do processo de estereoscopia, o software identifica múltiplos pontos de interesse com base na sobreposição de diversas imagens. Isso permite estimar a posição tridimensional de um determinado ponto na superfície, transformando-o de um pixel bidimensional em um ponto tridimensional (Westoby et al., 2012). A partir da aerotriangulação, é gerada uma nuvem de pontos esparsa, juntamente com o alinhamento das imagens, o que possibilita a execução das etapas subsequentes.

Após a aerotriangulação, é possível adicionar os pontos de apoio, responsáveis por corrigir a acurácia posicional absoluta do modelo. A importação dos pontos realiza-se considerando os formatos aceitos pelo software. Uma vez importados, verifica-se a quantidade de imagens em que cada ponto é visível, sendo recomendável que pelo menos dez imagens distintas tenham capturado o alvo. Números inferiores podem indicar baixa sobreposição, falha do software em visualizar os pontos ou divergência entre os sistemas de referência (Turner et al., 2014). A marcação dos pontos de apoio deve ser feita em seus respectivos alvos, com a literatura pertinente recomendando a utilização de pelo menos cinco pontos de controle e três de verificação para áreas de até dez hectares (Nex & Remondino, 2014). Para otimizar o processo, o programa possui uma ferramenta de automarcação, mas que, em geral, requer pelo menos três marcações manuais para fornecer ao algoritmo do software informações de referência suficientes.

Após a marcação, define-se quais pontos atuarão como pontos de controle, que servem como referência de alta precisão para a ancoragem do modelo, e quais serão os pontos de checagem, que atestarão a acurácia posicional absoluta do modelo, mensurando o posicionamento final em comparação com valores previamente conhecidos. A disposição dos pontos de controle deve ser estratégica, localizados preferencialmente próximos aos vértices da área mapeada e no centro, enquanto os pontos de checagem devem se posicionar de forma uniforme no terreno. Em seguida, uma nova aerotriangulação é executada, agora considerando os pontos de apoio adicionados (DJI, c. 2024).

Com a aerotriangulação otimizada, a análise crítica do Relatório de Qualidade gerado pelo DJI Terra é a próxima ação mandatória. Este documento é a "certidão de nascimento" da acurácia do projeto, e sua interpretação correta determina a viabilidade de todo o processamento subsequente. A qualidade da aerotriangulação estabelece o teto máximo de acurácia para todos os produtos derivados, pois erros e incertezas nesta fase se propagam nas etapas de densificação, modelagem e ortorretificação. O relatório fornece métricas como o *Reprojection Error RMS*, que avalia a consistência interna do modelo, o *Georeferencing RMSE*, que expressa a diferença entre as posições estimadas da câmera e as GNSS de bordo, e, de forma mais crucial, os *GCP & Check Point Errors*, que quantificam o erro quadrático médio (RMSE) entre as coordenadas

de alta precisão de campo e as posições calculadas no modelo 3D ajustado. Esses valores representam a medida direta da acurácia absoluta do levantamento, transformando a acurácia relativa, que é a consistência interna do modelo, em uma acurácia absoluta, alinhada com o mundo real e com o SIRGAS 2000, essencial para aplicações de engenharia, topografia e cadastro. Os pontos de checagem servem como uma validação independente e imparcial dessa acurácia (Turner et al., 2014).

A próxima etapa é a geração da nuvem de pontos densificada, do Ortomosaico Verdadeiro e do Modelo 3D Texturizado. Partindo da nuvem de pontos esparsa e das orientações de câmera otimizadas, o algoritmo de *Multi-View Stereo* (MVS) calcula informações de profundidade para quase todos os pixels em cada imagem, resultando em uma nuvem de pontos extremamente densa que representa detalhadamente a superfície de todos os objetos (DJI, c. 2024). Essa nuvem de pontos é a matéria-prima para a geração de outros produtos cartográficos.

O Ortomosaico Verdadeiro (TDOM) é criado a partir de um processo de fusão de imagens georreferenciadas. Diferente de um ortomosaico convencional que pode apresentar inclinações em objetos verticais, o TDOM, gerado por programas como o DJI Terra, utiliza as informações 3D para corrigir essas distorções, resultando em uma imagem onde todos os objetos são vistos de uma perspectiva nadiral, o que é crucial para a medição precisa da área de ocupação de telhados e bases de edifícios, fundamental para o cadastro urbano (DJI, c. 2024). A nuvem de pontos densa é a base para a extração dos Modelos Digitais de Elevação. O Modelo Digital de Superfície (MDS) representa a elevação de tudo o que está na superfície, incluindo o topo da vegetação e as edificações. Já o Modelo Digital de Terreno (MDT) representa a superfície nua do solo, exigindo um processo de filtragem da nuvem de pontos para remover objetos acima do solo. O MDT é essencial para aplicações de engenharia, hidrologia e planejamento. A partir do MDT, as Curvas de Nível são geradas, com sua equidistância normatizada (Decreto nº 89.817/84).

A validação final do produto cartográfico é um processo crítico que garante sua adequação e legalidade. O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelece as diretrizes para essa avaliação, com base na análise estatística dos erros planimétricos e altimétricos dos pontos de checagem. O Erro Médio Quadrático (RMS) é calculado e comparado com os valores normatizados para determinar a classe de acurácia (Classe A, B ou C). A verificação independente através de softwares como o GeoPec (Geopac, 2024) permite a geração de relatórios completos que validam a acurácia posicional do modelo, tornando o produto adequado para a administração fazendária. A exportação dos produtos em formatos padrão, como GeoTIFF para ortomosaicos e modelos de elevação, LAS/LAZ para nuvens de pontos e DXF/SHP para curvas de nível, garante a máxima interoperabilidade com os sistemas de informação geográfica (SIG). O processo culmina com a entrega de uma documentação técnica completa, incluindo o Relatório de Qualidade do software e um Relatório de Validação de Acurácia Posicional, que atestam a robustez e a transparência do trabalho executado.

4. PROJETO PILOTO PARA A PRODUÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS: O CASO DO CONDOMÍNIO OSVALDO STUDART

Para validar a aplicação prática de **RPAS** (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) na atualização e qualificação cadastral, foi conduzido um projeto piloto no Condomínio Osvaldo Studart, localizado no bairro Raquel de Queiroz, na porção centro-sudoeste do Município de Fortaleza (Figura 3). A metodologia empregada utilizou um equipamento da linha de consumo, o modelo **DJI AIR 2**. O planejamento do voo foi realizado a uma **altitude de 120 metros**, com uma alta **sobreposição frontal (80%) e lateral (70%)**, resultando em uma **Resolução Espacial do Solo (GSD) de 2,1 cm por pixel**. O voo, com duração de 15 minutos e aquisição de 156 fotografias aéreas, teve o processamento fotogramétrico realizado com o software de código aberto **Open Drone Map**. Contudo, o comprometimento dos resultados ideais do projeto, adequados aos padrões técnicos e normativos, foi a **ausência de Pontos de Controle no Terreno (GCP)**, decorrente de limitações de recursos materiais especializados, notadamente receptores GNSS de alta precisão, essenciais para o georreferenciamento de acurácia.

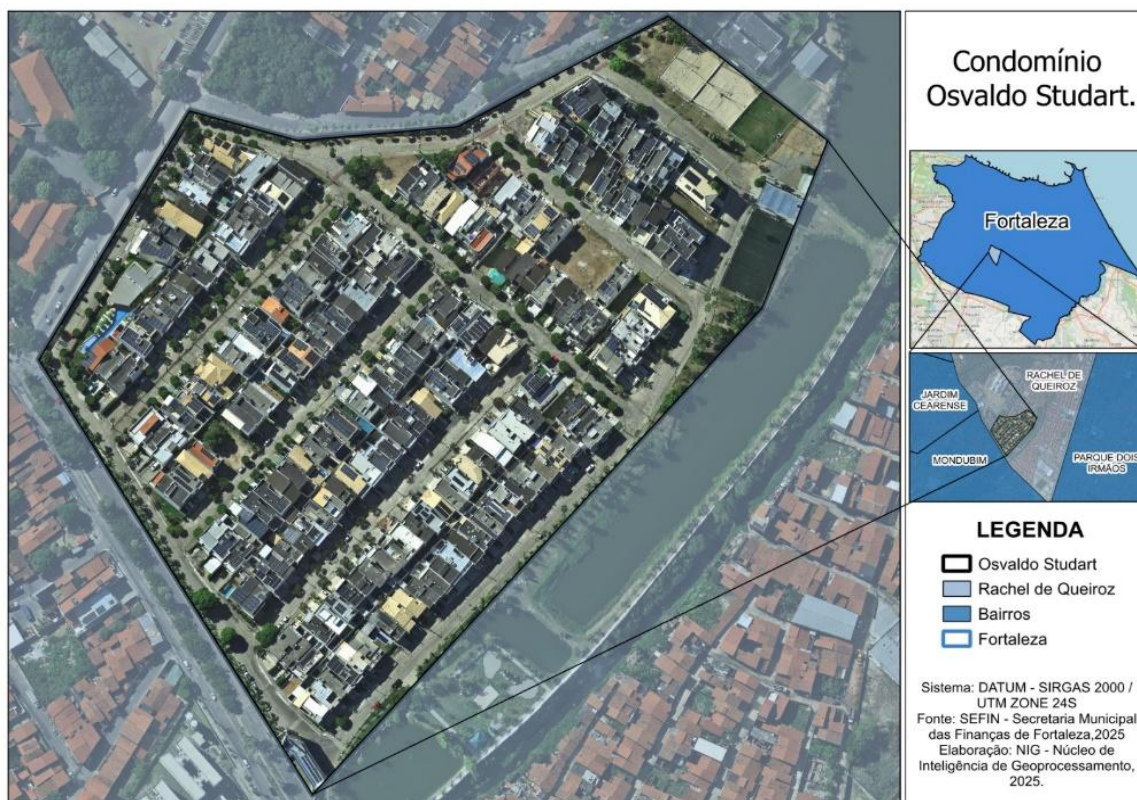


Figura 3. Condomínio Osvaldo Studart

O projeto piloto obteve resultados práticos significativos, confirmando o potencial da tecnologia para fins cadastrais. O aerolevantamento revelou **discrepâncias** substanciais entre os dados registrados no cadastro imobiliário e a realidade em campo. Conforme o Quadro 3, a pesquisa identificou **152 novas edificações** ainda não cadastradas, demonstrando um impacto fiscal imediato e a relevante capacidade da geotecnologia na captura dos dados sobre o território, materializando a atualização cadastral (Figura 4). Este sucesso prático na identificação de alterações não foi, contudo, completo devido à limitação de ordem técnica. A aplicação da

14

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

geotecnologia demonstrou sua eficácia para a **identificação da desatualização cadastral**, mas o georreferenciamento insuficiente, a carência de GCP de alta acurácia, não garantiu aos produtos cartográficos gerados a **acurácia absoluta** necessária para a certificação legal do cadastro, conforme exigido pela ABNT NBR 14166 (2019). O problema exposto limita a aplicação plena do projeto e impede que os dados sejam integrados de forma precisa ao **Sistema de Informações Territoriais de Fortaleza (SITFOR)**, comprometendo a qualificação cadastral completa e a segurança jurídica das informações.

Quadro 3. Comparativo do Cadastro Imobiliário do Condomínio Osvaldo Studart antes e depois do Aerolevantamento. Fonte: Dados do projeto piloto no Condomínio Osvaldo Studart.

Tipo de Lote	Cenário Pré-Aerolevantamento	Cenário Pós-Aerolevantamento
Lotes Territoriais (sem edificação)	168	16
Lotes Prediais (com edificação)	59	211 (59 já cadastrados + 152 novos)
Total de Lotes Particulares	227	227

O projeto, enquanto prova de teste do potencial da geotecnologia de RPAS para a atualização cadastral, evidenciou também uma notável otimização nos custos para obtenção de dados geoespaciais qualificados, incidindo os custos praticamente somente no deslocamento. O principal benefício do estudo de caso é a demonstração inequívoca de que, mesmo com **RPAS da linha de consumo** e sem o rigor da acurácia posicional absoluta, a tecnologia pode ser um insumo valioso para a gestão pública. Ela ensina agilidade e qualidade na coleta de dados e na produção de informações pertinentes como insumo cadastral, com investimentos bem mais modestos em comparação com operações aerofotogramétricas tripuladas. No entanto, a limitação de "recursos" que comprometeu o georreferenciamento reflete uma **barreira técnica mais ampla** para a adoção de tecnologias de ponta em municípios brasileiros. O projeto relevou que as limitações técnicas relacionadas aos equipamentos especializados para a realização do adequado georreferenciamento, necessário para tornar os resultados legalmente válidos para um CTM, ainda representa um desafio técnico, financeiro e de capacitação para a administração pública. A experiência reitera que o investimento na tecnologia de aquisição deve ser acompanhado por um investimento em recursos materiais, **rigor metodológico** e na **capacitação de pessoal** para que a modernização do cadastro seja integral e eficaz.

A restrição da **acurácia relativa** dos produtos gerados impõe uma limitação técnica significativa. Enquanto a detecção de feições (como a existência de uma nova edificação) foi altamente eficaz, cumprindo o requisito de **atualização temática**, a ausência de GCP impede a conversão da nuvem de pontos esparsa em um modelo com fidelidade posicional no sistema geodésico **SIRGAS 2000**. Desse modo, a precisão da localização dos limites das novas parcelas (o requisito de **qualificação geométrica**) permanece incerta. A integração desses dados no SITFOR sem a devida acurácia absoluta levaria a um desalinhamento com a base cartográfica existente, propagando erros e comprometendo a integridade de todas as análises geoespaciais subsequentes. Isso sublinha a distinção fundamental entre o mapeamento para **identificação** (que requer alta resolução espacial) e o mapeamento para **certificação legal** (que exige alta acurácia posicional), sendo esta última imperativa para a garantia da segurança jurídica do cadastro imobiliário.

Dessa forma, o estudo de caso estabelece um **paradoxo de custo-benefício** para a gestão pública municipal. Embora o baixo custo do RPAS de consumo demonstre a viabilidade econômica para a **pré-qualificação cadastral** e para alimentar a fiscalização com dados atualizados, o custo marginal de adquirir e operar equipamentos **GNSS de precisão (RTK/PPK)**, juntamente com a capacitação técnica para seu uso e processamento, é o divisor de águas entre um insumo de gestão e um produto cartográfico com **valor legal pleno**. A superação dessa lacuna técnica – que reside não na aeronave em si, mas na infraestrutura de

georreferenciamento de solo – deve ser a prioridade estratégica da administração municipal para concretizar a modernização do CTM e garantir que os dados gerados sejam não apenas informativos, mas juridicamente defensáveis e plenamente integráveis ao sistema de informações territoriais.

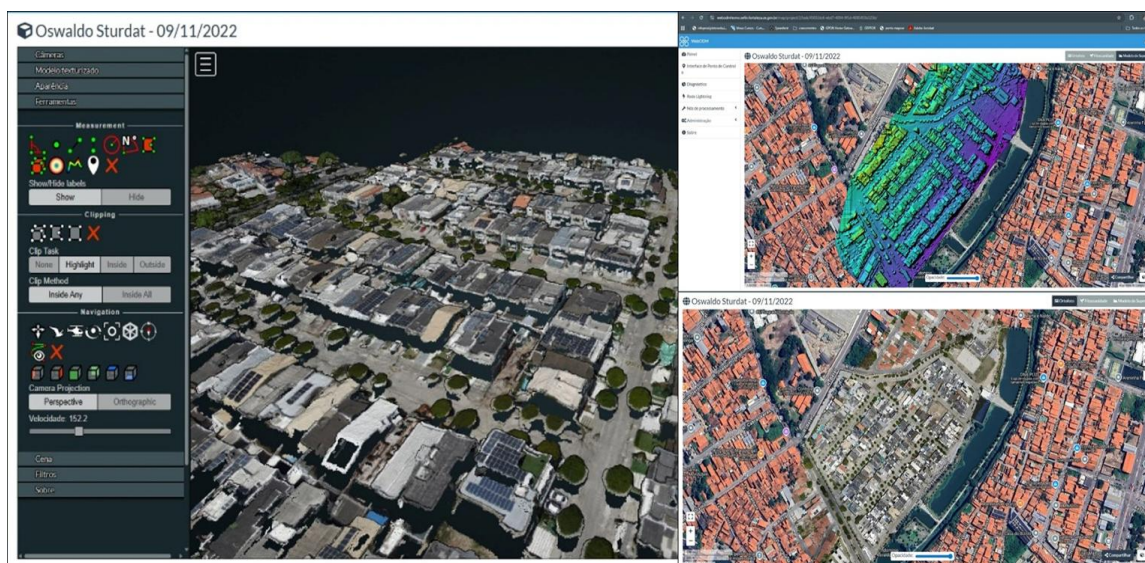


Figura 4. Condomínio Oswaldo Sturdart: produtos cartográficos digitais (MDS, ortomosaico e modelo 3D). Fonte: Acervo autoral

5. DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A MODERNIZAÇÃO CADASTRAL

Embora a tecnologia para a produção de dados geoespaciais com RPAS esteja disponível e seja eficaz, a plena implementação de um **Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)** de alta qualidade no Brasil ainda enfrenta desafios significativos de ordem regulatória, institucional e legal. Um dos principais obstáculos reside na **regulamentação para atividades de aerolevanteamento**. As operações de RPAS em áreas urbanas densamente povoadas são rigorosamente reguladas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), exigindo certificação de aeronaves e autorização prévia de voo. As atividades de aerolevanteamento dependem, ainda, da inscrição da instituição no Ministério da Defesa e da aprovação posterior dos projetos de aquisição de imagens aéreas do território nacional. Embora essenciais para a segurança, essas exigências burocráticas podem se tornar barreiras intransponíveis para municípios com equipes técnicas e recursos reduzidos. Além disso, a **Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD)** impõe restrições ao tratamento e à divulgação de imagens aéreas de alta resolução que possam permitir a identificação de pessoas ou propriedades privadas, adicionando uma camada de complexidade jurídica ao processo.

Souza et al., (2020), Reginato et al. (2020) e Paixão, (2021) desvendam, também, as barreiras institucionais e de governança, quando discorrem sobre a implementação de um CTM e do **Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER)** requerer uma

17

João Sérgio Queiroz de Lima, Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, Ana Carla Queiroz Paiva, Charles Benedito Gemaque Souza, Davi Diniz Silva Marcelino, Elizete de Oliveira Santos, Antônio Borges da Silva e Rebecca Nogueira Lopes, Brasil

Produção de dados territoriais urbanos com Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas: geotecnologias e cadastro multifinalitário na Cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil

governança cooperativa e intersetorial, envolvendo a articulação entre secretarias municipais e órgãos federais. Da mesma forma, falta de **recursos humanos qualificados** em áreas como fotogrametria e geoprocessamento é um dos principais entraves à consolidação de cadastros multifinalitários no país. A ausência de capacitação técnica compromete tanto a aquisição de dados de forma normatizada quanto o seu processamento e posterior integração em sistemas de gestão territorial, resultando em dados de baixa qualidade e legalmente indefensáveis.

Ferreira, Farias & Oliveira (2018) relevam que a complexidade das cidades modernas, com sua intensa verticalização e a sobreposição de direitos, torna a representação bidimensional do cadastro insuficiente. O espaço urbano conta com construções que ocupam espaços acima e abaixo da superfície, desafiando a representação tradicional. Nesse contexto, Gonçalves et al. (2024), Lemmen et al. (2010) e Van Oosterom et al. (2011) contribuem explicando que a capacidade dos RPAS de gerar **nuvens de pontos e modelos digitais 3D** emerge como a base técnica para a gestão de propriedades em três dimensões, alinhada com o **Modelo de Domínio de Administração de Terras (LADM)** e a **Administração de Terras 3D (3DLA)**. A tecnologia para a produção de dados 3D, como a combinação de RPAS com **LiDAR**, está consolidada e em constante aprimoramento, oferecendo soluções robustas para a captura de geometrias complexas em ambientes urbanos.

Argumentam Ferreira, Farias & Oliveira (2018) que o principal desafio para a implementação de um cadastro 3D no Brasil não é tecnológico, mas **legal e cultural**, pois o arcabouço jurídico brasileiro ainda se baseia em conceitos bidimensionais de propriedade e registro. A modernização tecnológica serve como um catalisador que expõe a urgência das reformas legais e institucionais. O investimento em RPAS e outras tecnologias 3D gera dados que não podem ser plenamente aproveitados pelo sistema cadastral atual, forçando a discussão sobre a necessidade de adaptar a legislação, a cultura de governança e a capacitação profissional (Quadro 4). A solução mais viável para o contexto brasileiro é a adoção de um **modelo de cadastro híbrido 2D/3D**, que associa o cadastro 2D tradicional com informações 3D para as situações que as exigirem.

Adicionalmente, a falta de padronização na produção e entrega de dados geoespaciais em nível municipal cria um ambiente de insegurança e dificulta a interoperabilidade entre sistemas. A insuficiência de **normatização abrangente e unificada** para a aquisição de dados por RPAS em âmbito municipal compromete a qualidade e a confiabilidade dos produtos finais, limitando sua utilização em processos administrativos críticos. A adoção de diretrizes técnicas e operacionais inteligíveis, que estabeleçam os requisitos de acurácia, GSD e metadados, é fundamental para garantir que os dados gerados sejam precisos, compatíveis e auditáveis por diferentes órgãos e plataformas. Essa padronização deve ser o foco de políticas públicas que visam à modernização do setor, assegurando a transparência e a segurança jurídica das informações territoriais.

Quadro 4. Matriz de Desafios e Soluções para a Implementação de um CTM e Cadastro 3D no Brasil. Fonte: Elaborado com base nos documentos citados.

Desafio	Descrição	Soluções
Legal	Regulamentação complexa para RPAS; Arcabouço legal 2D para a propriedade 3D.	Regulamentação municipal para RPAS; discussões legais e culturais sobre a propriedade e registro 3D; harmonizar a LGPD.
Institucional	Falta de governança cooperativa entre órgãos; Escassez de recursos humanos qualificados.	Cooperação entre secretarias e órgãos federativos (SINTER); capacitação profissional e programas de treinamento em geotecnologias.
Tecnológico	Dificuldade de integração e interoperabilidade de dados; metodologias incompletas.	Adotar padrões abertos e modelos de dados como o LADM para garantir interoperabilidade; metodologias completas para a acurácia absoluta e validade jurídica.
Financeiro	Alto custo de aquisição e manutenção de tecnologias avançadas	Investimentos em soluções otimizadas e de baixo custo para execução de projetos.
Social	Desconexão entre o cadastro oficial e a realidade informal; exclusão de comunidades no processo de mapeamento.	Utilizar as novas normativas (parcelas não-certificadas) para incluir áreas informais; fomentar o mapeamento participativo e a cartografia comunitária como insumo para o CTM.

Finalmente, a transição para um **cadastro 3D** representa mudanças que incorpore tecnologias, mas que haja redefinição de conceitos, como de propriedade e sobre outras dimensões espaciais no uso do solo, como sobre pavimentos além da superfície e subsolos. A tecnologia fotogramétrica com RPAS, ao prover dados em três dimensões, evidencia as limitações da legislação vigente, que trata a propriedade principalmente em termos de área de superfície. A capacidade de modelar com precisão volumes de edificações, infraestruturas, limite de lotes e propriedades, por exemplo, enseja possibilidades para qualificação da gestão fiscal, do planejamento urbano, e o desenvolvimento sustentável. O desafio, portanto, é traduzir compatibilizar avanço tecnológico, segurança **jurídica e relevância social e econômica**, convencendo gestores e legisladores da necessidade de investir em recursos materiais e humanos, mas também na infraestrutura legal e cultural para a integração desses dados inovadores na gestão das cidades.

6. CONCLUSÃO

A análise aprofundada da aplicação de **RPAS** na gestão territorial, com foco no estudo de caso do cadastro imobiliário do Município de Fortaleza, demonstra que a integração de **geotecnologias** beneficia a modernização do **Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)**. O projeto piloto, ao identificar **152 edificações não cadastradas** em uma pequena área, provou o potencial da tecnologia para gerar impacto fiscal positivo e aprimorar o planejamento urbano, principalmente quando intrinsecamente condicionado à sua aplicação sob um rigoroso contexto metodológico, sendo indispensável ferramentas para obtenção de dados com alta **acurácia relativa e absoluta**, necessárias para a certificação legal e a integração plena em um CTM de

alta qualidade. Limitações técnicas comprometem a validade jurídica da informação decorrente, sobretudo na captura de alta resolução e na aderência a padrões geodésicos.

A transição de um cadastro 2D para um **Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)** e, subsequentemente, para um **modelo híbrido 2D/3D** é o caminho natural e tecnicamente necessário para as cidades que buscam uma governança mais inteligente e eficiente. As novas normativas brasileiras, notadamente a **Portaria nº 3.242/2022** e a **ABNT NBR 17047-2022**, criaram um ambiente regulatório propício para essa evolução. Ao flexibilizar a representação da parcela e introduzir o conceito de "objeto territorial", o arcabouço normativo se torna mais inclusivo e funcional, abrindo espaço para a integração de dados de diferentes fontes e precisões no sistema cadastral.

A modernização se apoia nas novas tecnologias, mas está condicionada à superação de barreiras institucionais, legais e de capacitação dos recursos humanos. Como recomendações estratégicas para a gestão pública a revisão dos estudos apontou, primeiramente, que é fundamental **investir em metodologia completa e normatizada**, para garantir que os produtos cartográficos atendam ao **Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)** e obtenham a validade jurídica indispensável para a modernização do CTM. Em segundo lugar, torna-se imprescindível a **adoção de novas normas de regulamentação**, em que os municípios devem internalizar as diretrizes da Portaria nº 3.242/2022 e da ABNT NBR 17047-2022, regulamentando em nível municipal o uso dos conceitos de "parcela certificada" e "parcela não certificada", permitindo a integração coerente de dados de diferentes acurácias. No âmbito da **capacitação e fortalecimento da governança**, deve-se investir prioritariamente na formação de equipes técnicas qualificadas em fotogrametria, geotecnologias e geoprocessamento. Além disso, é fundamental fortalecer a **cooperação interinstitucional** para garantir a interoperabilidade dos dados, a transparência e a manutenção contínua do CTM.

Para a gestão de dados tridimensionais, torna-se imprescindível para os municípios capitalizar sobre a **tecnologia 3D disponível**, utilizando soluções de alto desempenho (combinação de RPAS e tecnologia LiDAR), acompanhado pela imediata discussão legal e cultural visando a transição para um **modelo de cadastro híbrido 2D/3D**, contribuindo para uma gestão mais completa da realidade urbana, abordando formalmente edificações, direitos de superfície e os limites de propriedades, qualificando as forma de representação.

A modernização cadastral é um investimento estratégico fundamental à gestão pública, provendo informações territoriais de alta qualidade, multifinalitárias e com segurança jurídica. Com isso, estabelecem-se as bases para um desenvolvimento urbano ordenado e sustentável, sendo também um pilar para a promoção da justiça fiscal. Em uma metrópole dinâmica como Fortaleza, essa justiça é alcançada pela capacidade do cadastro em espelhar as constantes mutações do espaço urbano, garantindo que as características de cada imóvel sejam aferidas com isonomia e que a receita gerada seja revertida de forma equitativa para a coletividade.

REFERÊNCIAS

ABNT. (2019). NBR 14166: Informação geográfica – Padrão de exatidão cartográfica. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT. (2022). NBR 17047: Informação geográfica – Cadastro territorial para registro público. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BRASIL. (1967). Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

BRASIL. (1984). Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF.

BRASIL. (2022). Portaria nº 3.242, de 9 de novembro de 2022. Aprova as diretrizes para criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM nos municípios brasileiros. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 nov. 2022. Seção 1, p. 20.

BRASIL. (2025). Lei Complementar nº 214, de 2025. Dispõe sobre a instituição do Imposto sobre Bens e Serviços (IBS) e da Contribuição sobre Bens e Serviços (CBS), no contexto da Reforma Tributária. Brasília, DF: Congresso Nacional.

Cáceres, A. P. et al. (2022). Controle de qualidade posicional de produtos cartográficos digitais: uma abordagem baseada na NBR 14166:2019. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 28, n. 1, e2022002.

Câmara, G. & Davis, C. (2020). Políticas de informação para a sociedade digital: o caso das informações geográficas. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). Geoinformação para o planejamento territorial. São José dos Campos: INPE.

Carneiro, A. F. T. (2003). Cadastro imobiliário e registro de imóveis: a Lei 10.267/2001, Decreto 4.449/2002 e atos normativos do INCRA. Porto Alegre.

Dale, P. & McLaughlin, J. 1999. Land information management: an introduction with special reference to cadastral problems in Third World countries. Oxford: Oxford University Press.

DJI. (2019). DJI Terra. Disponível em: <<https://www.dji.com/dji-terra>>. Acesso em: 25 set. 2025.

Enemark, S. (2019). Cadastre 2014 and beyond. Copenhagen: International Federation of Surveyors (FIG).

Erba, D. A. (2021). Para compreender o solo urbano: cadastros multifinalitários para o planejamento e o desenvolvimento das cidades na América Latina. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy.

Ferreira, B., Farias, J. L. P. & Oliveira, F. H. (2018). O estado da arte do cadastro 3D no Brasil e no mundo. In: 13º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, Florianópolis.

Fortaleza. (2013). Lei Complementar nº 159, de 23 de dezembro de 2013. Institui o Código Tributário do Município de Fortaleza. Fortaleza: Câmara Municipal.

Fortaleza. (2015). Decreto nº 13.716, de 22 de dezembro de 2015. Aprova o Regulamento do Código Tributário do Município de Fortaleza. Fortaleza: Prefeitura Municipal.

Fuckner, M. A. et al. (2021). A importância da acurácia cartográfica no contexto do cadastro territorial multifinalitário. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. São José dos Campos: INPE, p. 3045-3048.

GEOPAC. (2024). [s.d.]. GeoPec. Disponível em: <<https://www.geopac.com.br/geopac>>. Acesso em: 25 set. 2025.

Gonçalves, E. M. et al. (2024). Análise do registro de nuvens de pontos obtidas por SVLT e por VANT para aplicação no cadastro territorial multifinalitário. Revista Brasileira de Cartografia, v. 76.

Jesus, A. S. & Fuckner, M. A. (2020). Cadastro técnico multifinalitário: fundamentos, aplicações e perspectivas. 2. ed. Curitiba: Editora CRV.

Lemmen, C. et al. (2010). The Land Administration Domain Model (LADM): a conceptual model for land administration. Computers, Environment and Urban Systems, v. 34, n. 2, p. 110-123.

Loch, C. & Erba, D. A. (2007). Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy.

Longley, P. A. et al. (2015). Geographic information science & systems. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons.

Mancini, F. et al. (2013). Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: the structure from motion approach on coastal environments. Remote Sensing, v. 5, n. 12, p. 6880-6898.

Mbarga, T. C. et al. (2024). Integration of geospatial data of UAVs in cadastral management system and regularization of illegal occupations in informal settlements. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*, v. 7, n. 2, p. 112-129.

Neves, A. F. S. (2018). Infraestrutura de dados espaciais (IDE): conceitos, evolução e tendências. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 36, p. 108-122.

Nex, F. & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, v. 6, n. 1, p. 1-15.

Paixão, M. P. (2021). Cadastro territorial multifinalitário: fundamentos conceituais e aplicação em municípios brasileiros. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 2, p. 421-442.

Reginato, L., Almeida, C., & Barros, R. 2020. Avanços e desafios na implementação do cadastro territorial multifinalitário no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 12, p. 1-18.

Santos, S. D. R. et al. (2025). Um modelo semântico e ontológico para o cadastro territorial brasileiro. *AKR Advances on Knowledge Representation Journal*, v. 5, n. 2.

Silva, S. D. R. S. & Antunes, A. F. B. (2020). O cadastro territorial multifinalitário no contexto dos processos de regularização fundiária urbana. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 2, p. 233-252.

Siqueira, H. L. et al. (2020). Acurácia de produtos fotogramétricos gerados com aeronave remotamente pilotada em relevo acidentado. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72.

Souza, D. V. et al. (2020). O potencial do Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (Sinter) como ferramenta de transparência e integração de cadastros. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 3.

Coelho, L. C. T. et al. (2025). As novas normativas do cadastro territorial multifinalitário no Brasil como ferramentas de planejamento e gestão urbanos participativos. *E-metropolis – Revista Eletrônica de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 16.

Turner, D. et al. (2014). Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 52, n. 5, p. 2738-2745.

Van Oosterom, P. et al. (2011). 3D Cadastres: an overview. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 35, n. 6, p. 419-425.

Westoby, M. J. et al. (2012). Structure-from-motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, v. 179, p. 300-314.

Williamson, I. et al. (2010). *Land administration for sustainable development*. Redlands: ESRI Press.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Adhler Rouvanni Torres Martins Costa, graduado em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Brasil, com especialização em Geoprocessamento na PUC/Minas, Minas Gerais, Brasil, especialização em Aerofotogrametria com drones em curso na Faculdade Anhanguera, São Paulo, Brasil, e analista de geoprocessamento lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN), Ceará, Brasil.

Ana Carla Queiroz Paiva, graduada em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE), Brasil, mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), Brasil, com especialização em Tributação pela Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Ceará, Brasil, especialização em Geoprocessamento em curso na Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil, e supervisora de núcleo lotada no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

Antônio Borges da Silva, graduando em Geografia na Universidade Estadual do Ceará (UECE) e estagiário lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

Charles Benedito Gemaque Souza, graduado e mestre em Geografia, doutorando em Ciências Ambientais na Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil, e analista fazendário lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

Davi Diniz Silva Marcelino, graduado em Geografia e especialização em Geoprocessamento em curso na Universidade Federal do ABC, São Paulo, Brasil, e analista fazendário lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

Elizete de Oliveira Santos, graduada em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e doutora em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), e analista fazendária lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

João Sérgio Queiroz de Lima, graduado em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Ceará (UECE) e doutor em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), e analista fazendário lotado no Cadastro Imobiliário da Secretaria das Finanças de Fortaleza (SEFIN).

Rebecca Nogueira Lopes, graduada e mestre em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), doutoranda em Geografia na Universidade Estadual do Ceará (UECE).

CONTATOS

Adhler Rouvanni Torres Martins Costa. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: adhler.costa@sefin.fortaleza.ce.gov.br

Ana Carla Queiroz Paiva. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: ana.carla@sefin.fortaleza.ce.gov.br

Antônio Borges da Silva. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: antonio.borges@sefin.fortaleza.ce.gov.br

Charles Benedito Gemaque Souza. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: charles.souza@sefin.fortaleza.ce.gov.br

Davi Diniz Silva Marcelino. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: davi.marcelino@sefin.fortaleza.ce.gov.br

Elizete de Oliveira Santos. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: elizete.santos@sefin.fortaleza.ce.gov.br

João Sérgio Queiroz de Lima. Secretaria das Finanças do Município de Fortaleza. Rua Gal. Bezerril, 755, Centro - Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: joaosergio1980@gmail.com

Rebecca Nogueira Lopes. Universidade Estadual do Ceará – UECE. Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Campus do Itaperi. Fortaleza/CE/Brasil. E-mail: rebecca.geografa@gmail.com