



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE
AGRIMENSURA

CARINE DA SILVA CAVALCANTI

ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS POR AEROLEVANTAMENTO POR RPA

Recife
2020

CARINE DA SILVA CAVALCANTI

ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS POR AEROLEVANTAMENTO POR RPA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Junior.

Recife
2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

C376a Cavalcanti, Carine da Silva
Análise dos dados obtidos por aerolevanteamento por RPA / Carine da
Silva Cavalcanti. - 2020.
45 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Junior.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Cartográfica, 2020.

Inclui Referências.

1. Engenharia cartográfica. 2. Cadastro técnico multifinalitário. 3.
Aerolevanteamento convencional. 4. RPA. I. Lima Junior, Cezário de Oliveira
(Orientador). II. Título.

UFPE

526.1 CDD (22. ed.)

BCTG/2021-68

CARINE DA SILVA CAVALCANTI

ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS POR AEROLEVANTAMENTO POR RPA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Aprovada em: 10/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Junior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. MSc. Albino Ferreira de França (Coorientador)
Companhia Pernambucana de Saneamento

Prof^a. Dr^a. Simone Sayuri Sato (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida e por me fortalecer a cada desafio dessa trajetória acadêmica, pois ele está sempre presente em meu caminho.

Gratidão a minha família, meus pais, Rejane e Cavalcanti e minha irmã Carol, que estão sempre comigo, amo vocês!

Ao meu namorado Pedro Ivo, que desde o início me incentivou e me fez persistir nos meus sonhos. Sou eternamente grata pelo apoio, cuidado e por todo amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cezario de Oliveira Lima Junior, a quem tenho profunda gratidão. Obrigada por todos esses anos de ensinamentos durante a graduação e por me orientar durante essa pesquisa.

À empresa Compesa, por todo aprendizado durante o estágio curricular e por gentilmente ceder as informações necessárias ao estudo.

Ao Engenheiro Cartógrafo, Albino França, que me orientou durante todo o período de estágio, com muita paciência, técnica e profissionalismo. Agradeço todo conhecimento e confiança que me foi dada.

Ao Decart e à UFPE, pela oportunidade de realizar mais uma conquista.

Aos professores e colegas de curso que fizeram parte desta caminhada, agregando tantos conhecimentos durante todo o curso.

RESUMO

A pesquisa apresenta um estudo sobre um aerolevante realizado por RPA no Município de Belo Jardim – PE, onde pôde ser analisado e qualificado os dados do levantamento através das imagens capturadas pelo RPA e uma ortoimagem do PE3D. O trabalho mostra como o avanço da tecnologia e a consolidação de novas técnicas, contribuem para o aumento das formas e para a praticidade de representação do espaço geográfico. Fato que tende a minimizar a grande defasagem de informações encontradas nas prefeituras municipais, através da implementação do Cadastro técnico Multifinalitário (CTM). Na metodologia foi realizada uma análise quantitativa e qualitativa, usando a pesquisa documental como instrumentos de coleta de dados. Foi realizado o método de posicionamento cinemático usando GNSS para coleta de pontos de apoio e de checagem, levantamento Aerofotogramétrico e processamento das imagens do aerolevante. Os resultados da pesquisa revelam que a ortoimagem além de poder ser aplicada em diversas áreas do Cadastro Técnico Multifinalitário, também mostrou ser um produto viável para o cadastro em municípios de pequeno e médio porte.

Palavras-chave: Cadastro técnico multifinalitário. Aerolevante convencional. RPA.

ABSTRACT

The research presents a study obtained by aerial surveys by RPA (Remotely Piloted Aircraft) in the Municipality of Belo Jardim - PE, where the data obtained through the survey made through the images captured by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and a orthoimage of PE3D. The work shows that the advancement of technology and the consolidation of new techniques, contribute to the increase of shapes and to the practicality of representing the geographical space. Fact that tends to minimize the large information gap found in city halls, through the implementation of the Multifinalitarian Technical Register (CTM). In the methodology, a quantitative and qualitative analysis was performed, using documentary research as instruments of data collection. The kinematic positioning method was used, support and check points were collected for validation, Aerophotogrammetric survey and image processing of the aerial survey. The survey results reveal that orthoimaging, in addition to being able to be applied in several areas of the Multifinal Technical Registry, also proved to be a viable product for registration in small and medium-sized municipalities.

Keywords: Multifinal technical registration. Conventional airlift. RPA.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO GERAL	10
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1	CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO	11
3.2	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs).....	12
3.3	DIRETRIZES	13
3.3.1	Portaria nº 511, de 7 de dezembro de 2009.....	13
3.3.2	Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.	15
3.4	FOTOGRAMETRIA AÉREA: DEFINIÇÃO E HISTÓRIA	16
3.5	PERCURSO HISTÓRICO DE AEROLEVANTAMENTOS NO BRASIL.....	18
4	METODOLOGIA	20
4.1	LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO ESTUDO	20
4.2	ÁREA DE ESTUDO	21
4.3	MÉTODOS	23
4.3.1	Levantamento por GNSS.....	23
4.3.2	Pontos de Apoio	25
4.3.3	Levantamento Aerofotogramétrico	27
4.3.4	Processamento.....	29
4.3.5	Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais - Planimetria e Erro Médio Quadrático –EMQ (Root Mean Square -RMS)..	29
5	DESCRIÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISES.....	31
5.1	ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A PEC-PCD	35
5.2	GERAÇÃO DO ORTOMOSAICO, MDT, MDE.....	40
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) em diversos estudos se mostraram de grande importância, pois contribui em tempo real no reconhecimento das áreas de forma precisa, oferecendo um suporte viável aos pesquisadores. Com o auxílio das imagens áreas de alta resolução, propiciando o mapeamento das áreas de estudo e o desenvolvimento das pesquisas nesse âmbito (EISENBEISS, 2009; NAVARRO et al., 2015).

A tecnologia das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), ou VANT como também é conhecido, ainda é de uso recente na cartografia, poucas pesquisas mostram o uso na aplicação de reconhecimento de terreno, cadastro e topografia. É possível observar que o sucesso de uma obtenção de dados acurados a partir do aerolevanteamento com RPA depende de metodologia e uso de equipamentos adaptados, por ser um procedimento técnico e que demanda conhecimento específico na área de cartografia. Com isso, é recomendado que tais projetos sejam executados por profissionais capacitados na área, visando a geração de dados acurados.

Um município, independentemente do seu tamanho populacional, é esperado que esteja sempre em evolução no decorrer dos anos, essa evolução acontece na infraestrutura urbana com novas construções, indústrias, aumento dos loteamentos etc. A administração municipal é um setor que necessita de modernização em relação a vários aspectos, principalmente em investimento tecnológico, tem o desafio de encontrar métodos que sejam eficientes e viáveis, para que seja feita a fiscalização e planejamento da evolução da cidade. A busca de um crescimento organizado e sustentável tem de haver a implementação do Cadastro técnico Multifinalitário (CTM), de forma que auxilie os processos de análises de sustentabilidade urbana juntamente com o estabelecimento de políticas públicas nos municípios.

Com o avanço da tecnologia e a consolidação de novas técnicas, houve o aumento das formas e a praticidade de representação do espaço geográfico. Uma das técnicas pouco explorada é o uso do CTM, que tem fundamental importância no planejamento urbano e na gestão, oferecendo ferramentas com precisão geométrica e temática necessária para elaboração de planos urbanísticos.

Alguns autores enfatizam esse pensamento, como (ROSÉS, 2004), que fala que é inevitável empreender processos de modernização das administrações, otimizando seu rendimento para melhor servir as necessidades da sociedade.

De acordo com (Silva et al.,2002), a aplicabilidade do CTM possui vários benefícios, tais como a agilização do atendimento e informações disponibilizadas à população, fornecimento de matérias para auxílio no planejamento do município e ampliação de dados descritivos do Cadastro a diversos setores da administração pública.

É importante demonstrar a importância da atualização precisa de uma base cadastral como instrumento de apoio à administração municipal. (Erba, 2005) fala que, no cadastro, uma de suas aplicações mais evidentes, no universo de um sistema de informação territorial, é a fiscal, que objetiva a arrecadação legal através do registro de interesses sobre a terra.

O avanço tecnológico dos últimos anos tem mudado as técnicas e os equipamentos utilizados nos levantamentos Fotogramétricos. O investimento na construção de mapas geográficos de uma cidade é importante para várias atividades, como o reconhecimento de terreno para desenvolvimento da agricultura, delimitação territorial de fronteira, tributação. A precisão cartográfica é essencial para a qualidade desses levantamentos aéreos.

Portando, é visto nesta pesquisa que, com as novas conquistas tecnológicas, como o uso de RPA, popularmente conhecida como drone, é possível realizar um aerolevanteamento e mapeamento satisfatório a pequenos e médios municípios. A utilização de sensores embarcados em aeronaves remotamente pilotadas têm se mostrado uma prática muito promissora, pois a aquisição de imagens aéreas convencionais ainda representa um alto custo para projetos de pequeno e médio porte. Diante desta problemática, esta pesquisa utiliza uma RPA (Aeronave Remotamente Pilotada), como ferramenta para levantamento aéreo aplicado em fotointerpretação comparada à aplicação dos levantamentos convencionais.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade posicional dos dados obtidos por aerolevanteamento por RPA em uma área localizada no município de Belo Jardim, estado de Pernambuco.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar uma análise em um polígono de interesse localizado na cidade de Belo Jardim-PE, identificando qualitativamente e quantitativamente as vantagens dos dados obtidos no método de aerolevanteamento por RPA.
- b) Avaliar a eficácia na utilização desse equipamento para fim de levantamento aerofotogramétrico em áreas de médio porte.
- c) Validar dados das imagens capturadas por RPA.
- d) Mostrar os resultados gerados a partir da utilização do VANT DJI Phantom 4 Pro na produção do ortomosaico e produção do MDE e MDT a partir do software Agisoft Photoscan.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão expostos os conceitos básicos os quais foram usados como forma de embasamento e apoio ao trabalho.

3.1 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

Nas últimas décadas, no contexto brasileiro, apesar das diversas dificuldades históricas, é perceptível um movimento de organização e compartilhamento de informações territoriais. A sistematização dessas informações constitui um cadastro, mas não qualquer cadastro. Para o cadastro ao qual se refere o conceito da Federação Internacional de Geômetras (FIG) é utilizado “cadastro técnico” ou “cadastro imobiliário” (FIG, 1995).

O Cadastro Multifinalitário para Dale e McLaughlin (1990) *apud* Carneiro (2003), é um sistema de informações territoriais projetado para servir tanto a organizações públicas como privadas, além de servir aos cidadãos. No entanto, para Carneiro (2003) esse sistema de informação territorial difere dos demais por ser baseado em parcelas, que são unidades territoriais do cadastro. Segundo a Federação Internacional de Geomêtras – FIG (*International Federation of Surveyors*), essas parcelas são unidades definidas por limites formais ou informais que delimitam a extensão de terras para uso exclusivo de indivíduos ou grupos específicos de indivíduos (como, famílias, sociedades, grupos comunitários). Ou seja, para um cadastro ser completo, deve conter informações referentes a todas as parcelas territoriais, públicas e privadas, urbanas e rurais.

Diante desse entendimento, como características principais do cadastro multifinalitário, Carneiro (2003, p.24) traz:

- (a) A utilização da parcela cadastral como unidade fundamental da organização espacial;
- (b) A relação de uma série de registros territoriais (tais como direitos, valor e uso do solo) a essa parcela;
- (c) O fato de ser o mais complexo possível como cobertura espacial;
- (d) O fornecimento de um meio eficiente de acesso aos dados.

E como seus principais componentes: “uma rede de referência espacial, um sistema de mapeamento básico e um conjunto de arquivos relacionando vários tipos de informações a cada parcela.” (CARNEIRO, 2003, p.25)

Um Cadastro técnico multifinalitário permite analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim uma melhor gestão dos recursos, gerando uma melhor condição de vida para toda a população local. Para isso, é necessário que haja um sistema cadastral atualizado que possibilita ter esse desenvolvimento do CTM, para que sirva de apoio à gestão pública municipal.

3.2 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)

O termo Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) denota um subgrupo de VANT destinado à operação remotamente pilotada (FERREIRA, 2014).

(EISENBEISS, 2009) fala que VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi-autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto, a partir do solo, usando um controle remoto.

Sobre sensoriamento remoto com os Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs, encontramos que existem muitas possibilidades de aplicação, discutidas por alguns autores, e também algumas dúvidas em relação as questões técnicas e legais, pontuadas no artigo de Sousa (2017).

É importante salientar que sobre a legalização do uso destes equipamentos para fins profissionais, países como Austrália e os Estados foram pioneiros em estabelecer parâmetros e regras (devido a questões de segurança, privacidade, etc.). O Brasil, oficialmente, só foi permitido voos para fins experimentais de um tipo específico de VANT, as ARPs (Aeronaves Remotamente Pilotadas), a partir do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) da ANAC que é complementar às normas de operação de drones estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

A legislação é de suma importância para o Cadastro Técnico Multifinalitário, pois além da questão técnica ser importante, o que está na lei se torna primordial para o estabelecimento das principais diretrizes para fins de resultados finais.

Para a decolagem, as normas de utilização de RPA variam de acordo com o seu peso máximo. Com isso, diretrizes de classificação foram criadas para serem seguidas através de um regulamento. As exigências variam com o peso do RPA, como mostra a tabela a seguir:

Tabela1 - Categoria dos Veículos Aéreos Não Tripulados

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Peso Máximo de Decolagem	Acima de 150kg	Entre 25kg e 150kg	Abaixo ou Igual a 25kg
Exigências	exigindo certificação no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.	exigindo certificação no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula e os fabricantes devem ter projetos aprovados com requisitos técnicos.	operando até 400 pés deverão apenas ser cadastradas na ANAC por meio do sistema SISANT, apresentando informações sobre o operador e sobre o equipamento. Não é necessário realizar o registro de voo.

Fonte: Adaptado ANAC, (2017).

3.3 DIRETRIZES

Nos itens a seguir serão apresentados importantes diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho.

3.3.1 Portaria nº 511, de 7 de dezembro de 2009

Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros.

“CAPÍTULO I - DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1º O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), quando adotado pelos Municípios brasileiros, será o inventário territorial oficial e sistemático do município e será embasado no levantamento dos limites de cada parcela, que recebe uma identificação numérica inequívoca.

Art. 2º A parcela cadastral é a menor unidade do cadastro, definida como uma parte contígua da superfície terrestre com regime jurídico único.

§ 1º É considerada parcela cadastral toda e qualquer porção da superfície no município a ser cadastrada.

§ 2º As demais unidades, como, lotes, glebas, vias públicas, praças, lagos, rios e outras, são modeladas por uma ou mais parcelas de que trata o caput deste artigo, identificadas por seus respectivos códigos.

§ 3º Deverá ser atribuído a toda parcela um código único e estável.

Art. 3º Toda e qualquer porção da superfície territorial no município devem ser cadastradas em parcelas.

Art. 4º Os dados do CTM, quando correlacionados às informações constantes no Registro de Imóveis (RI) constituem o Sistema de Cadastro e Registro Territorial - SICART.

Art. 5º Os dados dos cadastros temáticos, quando acrescidos do SICART, constituem o Sistema de Informações Territoriais (SIT).

§ 1º O cadastro temático compreende um conjunto de informações sobre determinado tema relacionado às parcelas identificadas no CTM.

§ 2º Considera-se como cadastros temáticos, os cadastros fiscais, de logradouros, de edificações, de infra-estrutura, ambiental, socioeconômico, entre outros.

Art. 6º O CTM, bem como os sistemas de informação dos quais faz parte (SICART E SIT), é multifinalitário e atende às necessidades sociais, ambientais, econômicas, da Administração Pública e de segurança jurídica da sociedade. Parágrafo único - O CTM deve ser utilizado como referência básica para qualquer atividade de sistemas ou representações geoespaciais do município.

CAPÍTULO II - DO CADASTRO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO

Art. 7º O CTM é constituído de: I - Arquivo de documentos originais de levantamento cadastral de campo; II - Arquivo dos dados literais (alfanuméricos) referentes às parcelas cadastrais; III - Carta Cadastral.

Art. 8º Define-se Carta Cadastral como sendo a representação cartográfica do levantamento sistemático territorial do Município.

Art. 9º As informações contidas no CTM e no RI devem ser devidamente coordenadas e conectadas por meio de troca sistemática de dados, com a finalidade de permitir o exercício pacífico do direito de propriedade, proteger e propiciar a segurança jurídica, o mercado imobiliário e os investimentos a ele inerentes.

CAPÍTULO III - DA CARTOGRAFIA CADASTRAL

Art. 10 O levantamento cadastral para a identificação geométrica das parcelas territoriais deve ser referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.

Art. 11 Os municípios que adotarem o CTM, no âmbito de sua autonomia, implantarão, conservarão e manterão a inviolabilidade dos marcos vinculados ao SGB, de acordo com as recomendações do IBGE. Parágrafo único - Levantamentos e locações de obras e novos loteamentos devem ser referenciados ao SGB, apoiados nos marcos municipais correspondentes.

Art. 12 O CTM utilizará o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM), até que seja definida uma projeção específica.

§ 1º Aos municípios localizados em mais de um fuso UTM, recomenda-se estender o fuso correspondente à sua sede até o limite municipal, de forma que sejam representados em apenas um único fuso.

§ 2º Poderá ainda ser admitida outra projeção cartográfica, já utilizada no município, até a definição de uma nova projeção para o CTM.

Art. 13 Os vértices que definem os limites de cada parcela devem constituir uma figura geométrica fechada.

§ 1º Os limites legais das parcelas devem ser obtidos, com precisão adequada, por meio de levantamentos topográficos e geodésicos.

§ 2º Os limites físicos das parcelas podem ser obtidos por métodos topográficos, geodésicos, fotogramétricos e outros que proporcionem precisões compatíveis. 15

Art. 14 A Cartografia Cadastral deve obedecer aos padrões estabelecidos para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE e às normas relativas à Cartografia Nacional, de acordo com o artigo 4º do Decreto 6.666/2008.

Art. 15 Os limites territoriais são cadastrados com atributos específicos, conforme a seguinte ordem de preferência:

I - das parcelas;

II - das áreas de posse, correspondentes ao limite físico;

III - das propriedades, correspondentes ao limite legal;

IV - dos setores cadastrais ou de zoneamento;

V - dos distritos;

VI - dos Municípios;

VII - dos Estados;

VIII - do País. Parágrafo único - No caso de duplicidade de atributo para um determinado limite prevalecerá a ordem de preferência apresentada neste artigo." (BRASIL, 2009).

3.3.2 Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

A regulamentação dos parâmetros da PEC é baseada no decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, no qual define o padrão de exatidão e erro médio aceitável nos documentos cartográficos executados em todo o território nacional.

CAPÍTULO II ESPECIFICAÇÕES GERAIS SEÇÃO I

Classificação de uma Carta quanto à Exatidão.

Art 8º - As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, seguinte o critério abaixo indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido.

2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido.

§ 1º - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§ 2º - A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - PEC = 1,6449 EP.

§ 3º - O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

§ 4º - Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

3.4 FOTOGRAMETRIA AÉREA: DEFINIÇÃO E HISTÓRIA

Segundo (Ferreira, 2014), etimologicamente a palavra “fotogrametria” tem origem no idioma grego e se refere ao processo de realizar medições com o uso de fotografias: “os radicais da palavra são *photon* (luz), *graphos* (escrita) e *metron* (medições)” (COELHO e BRITO, 2007 apud FERREIRA, 2014, p.17).

Em 1851, o oficial do Corpo de Engenheiros do Exército francês, Aimé Laussedat, desenvolve os primeiros princípios e técnicas fotogramétricos (BRITO; COELHO FILHO, 2002). Nos estudos de Silva (2015), consta que o oficial francês empregava o princípio da câmera clara para desenhar vistas geometricamente exatas de áreas levantadas, e também desenvolveu o método de interseções para o desenho de plantas a partir de fotografias. Razão a qual é considerado o “Pai da Fotogrametria”.

No entanto, o termo relacionado de fato ao método só foi introduzido na literatura internacional em 1893, pelo alemão Albrecht Meydenbauer. Antes disso, o método foi chamado de iconometria, metrofotografia e fototopografia (SILVA, 2015).

Conhecido também como um dos pais da fotogrametria moderna. Meydenbauer pretendia aplicar suas técnicas fotogramétricas para a documentação dos monumentos culturais. Para a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS), fotogrametria é “a arte, ciência, e tecnologia de se obter informação confiável sobre objetos físicos e o meio-ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos” (BRITO; COELHO FILHO, 2002, p.5).

É relevante ressaltar que foi observado a existência de muitas definições sobre fotogrametria e, que inclusive, algumas não a diferem do conceito de sensoriamento remoto. Embora não exista uma única definição, não se pode considerar nenhuma incorreta. Segundo Brito e Coelho Filho (2002, p.6):

Cada uma reflete uma visão diferente sobre o tema, que expressa diferentes perfis e diferentes épocas. A tendência, hoje em dia, principalmente com o desenvolvimento da fotogrametria digital e de sensores orbitais compatíveis com a atividade fotogramétrica é que a fotogrametria esteja inserida no contexto global de sensoriamento remoto [...], a grosso modo definido como “ciência e tecnologia de aquisição de informação sobre um objeto sem contato direto entre este e o sensor.

Trabalhos posteriores ao do francês Aimé Laussedat, já norteavam aquilo que seria o futuro da fotogrametria aérea. O uso de balões e pipas para a aquisição de imagens aéreas mostrou-se de grande importância para a criação de mapas. Os

trabalhos do francês Gaspard Félix Tournachon (conhecido como Félix Nadar) em 1859, e as famosas fotografias capturadas por James Wallace Black em 1860 (ver Figura 1) realizadas com a ajuda de um balão de ar quente sobre a cidade de Boston (FERREIRA, 2014).

Figura 1 - Vista de um balão da Cidade de Boston em 1860



Fonte: Museu Metropolitano de Nova Iorque.

A partir de 1881, o Canadá, o francês Edouard Gaston Deville, ex-engenheiro hidrógrafo da Armada Francesa, desenvolveu serviços de mapeamento com a aplicação da fotogrametria, com os primeiros testes nas Montanhas Rochosas. Na época, todos os levantamentos eram executados por fotogrametria terrestre. Por fotogrametria aérea um dos primeiros resultados práticos foi conseguido por balão pelo Capitão Cesare Tardivo (1870-1953), oficial italiano da Seção Fotográfica do Corpo de Engenheiros da Itália, criada em 1896 (SILVA, 2015).

A primeira revolução da fotogrametria, através da qual foi possível facilitar surpreendentemente o trabalho dos usuários, veio a partir da invenção do aparelho “estereocomparador”, por Pullfrich. A inovação substituiu os inúmeros cálculos matemáticos por aparelhos óptico-mecânicos. Em 1911, o austríaco Theodor e Scheimpflug cria um método bem-sucedido de retificação de fotografias aéreas, iniciando todo um processo de utilização de tais fotografias para mapeamento de extensas superfícies (BRITO; COELHO FILHO, 2002).

No Brasil, o primeiro mapeamento aerofotogramétrico com especificações de restituição numérica, ou analítica, com apoio em programa CAD, só veio ser realizado entre 1988 e 1990, para a Região Metropolitana do Recife, pela antiga FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da RMR), em área de 200km² em 436 folhas, na escala 1/1000 (CARVALHO, 2003).

Para atender à crescente demanda por mapas com maior qualidade e precisão, especialmente durante os períodos das guerras, Wolf (2000 apud FERREIRA, 2014) afirma que novas técnicas e equipamentos foram desenvolvidos e que esta demanda necessitou de profissionais especializados. Era necessário muito treinamento para operar os restituidores analógicos e interpretar corretamente as fotografias, surgindo assim a profissão de restituidor fotogramétrico. Atualmente a fotogrametria de imagens aéreas utilizadas comercialmente é quase toda digital, tomando o espaço dos restituidores analógicos¹ e analíticos².

3.5 PERCURSO HISTÓRICO DE AEROLEVANTAMENTOS NO BRASIL

A Sociedade Brasileira de Cartografia (SBC) teve e tem importante papel no apoio e divulgação de trabalhos realizados por pesquisadores e engenheiros do mais alto nível, por meio da Revista Brasileira de Cartografia (RBC) e dos Congressos Brasileiro de Cartografia. Fundada em 1958 com fins técnico-científicos, possui sua sede no Rio de Janeiro e é formada por seis comissões técnicas, entre elas uma de fotogrametria e outra de fotointerpretação.

No Brasil, um dos primeiros trabalhos a utilizar a técnica fotogramétrica realizado pelo professor Pereira Reis, em 1893, que executou a carta do então Distrito Federal (Rio de Janeiro) através do método elaborado por Laussedat (ROCHA et al, 2010). Alguns anos depois, em 1902, o engenheiro Rodolfo Ahrons fez a planta na escala 1/10.000 dos primeiros seis distritos de Porto Alegre, com detalhes dos morros e curvas de nível. (ESPARTEL, 1978 apud SILVA, 2015, p.90).

1 **Fotogrametria Analógica:** medições com uso de equipamentos mecânicos, que reproduziam por exemplo a intersecção dos eixos fotogramétricos para representar as variações do terreno;

2 **Analítica:** utilizando equipamentos eletrônicos, para realizar as medidas estereoscópicas nas imagens aéreas;

Em 1914, Emíle Wolf realizou um trabalho experimental de mapeamento do morro do Cantagalo, Rio de Janeiro. E no ano seguinte, os levantamentos preliminares da Ilha do Governador. Em 1922 supervisionou um trabalho de grandes proporções de mapeamento do Distrito Federal (Rio de Janeiro), na escala de 1/50.000. Só em 1928 a 1930, São Paulo teve o levantamento de sua capital por aerofotogrametria executado, foi realizado pela empresa SARA Brasil S/A, pertencente aos irmãos Nistri, que também construía aparelhos fotogramétricos.

São Paulo foi a primeira cidade e município do mundo que teve um levantamento fotogramétrico em grande escala. Para a área do centro, escala 1/1000 (cerca de 36 km²), curvas de nível com equidistância de 1m, erro inferior a 30cm; e escala 1/5000 (1000km²), com curvas de nível de 5 em 5m, para todo o município (SILVA, 2015). Em 1953, com a lei que sancionava e autorizava a mudança da capital do Brasil para o Planalto Central, ocorreram levantamentos aerofotogramétricos de 52.000 km², da área da futura Brasília.

4 METODOLOGIA

Para a metodologia deste trabalho foram desenvolvidos alguns tópicos, sendo este primeiro tópico tem como objetivo descrever os procedimentos realizados em campo e escritório como: reconhecimento e levantamento de estruturas em campo, levantamento de pontos de apoio com GNSS, aerolevanteamento com RPA, processamento fotogramétrico.

4.1 LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DO ESTUDO

O local no qual foi realizado o estudo da pesquisa em questão foi a Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), no edifício sede, localizado na Avenida Cruz Cabugá, Bairro de Santo Amaro.

O setor onde foi desenvolvido a pesquisa atende demandas da construção civil, ambiental, jurídico e social, na área de cartografia atende as demandas através dos levantamentos geodésicos e aerofotogramétricos, gerando produtos que subsidiam projetos básicos, executivos, obras e estudos acerca de sistemas de esgotamento sanitário.

A área de cadastro contribui para: a atualização da base cadastral do Sistema de Informações Geográficas (Giscomp); o cadastro comercial; a atualização do cadastro técnico. Os materiais que compõem o acervo no setor são: ortofotos do PE3D, ortofotos de fonte própria, as monografias dos marcos implantados e a base Giscomp que possui informações do cadastro comercial de todas as localidades que a Compesa atende.

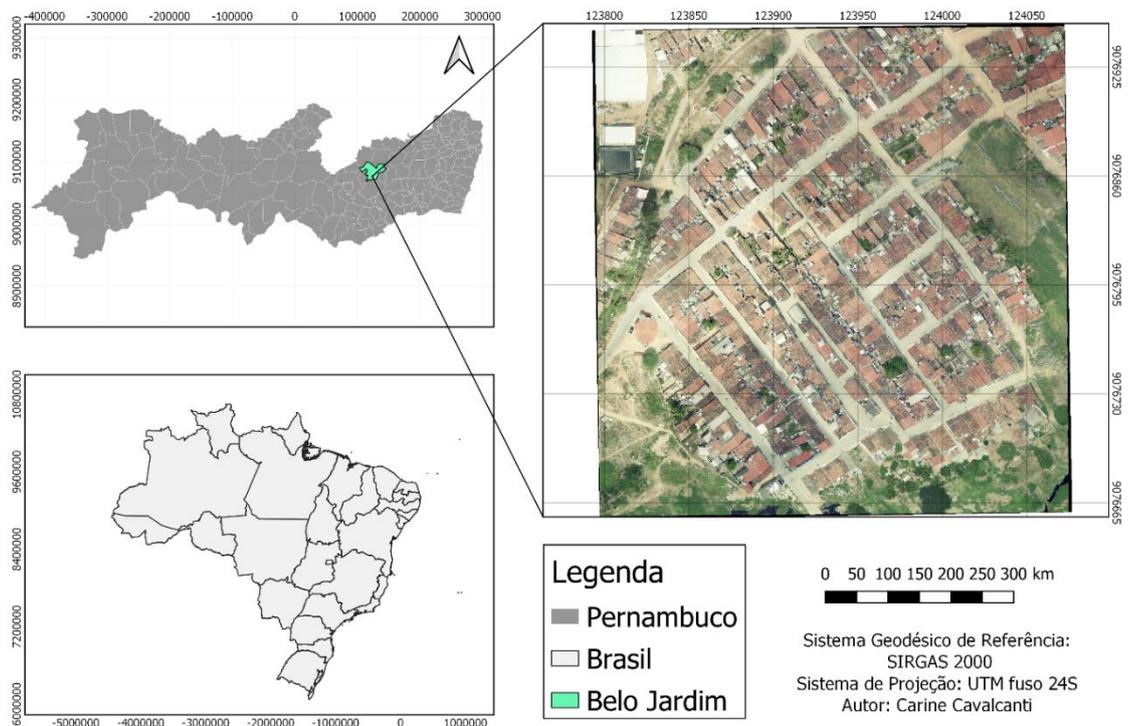
O Giscomp é uma ferramenta de gestão corporativa, criado pela própria empresa, uma plataforma de serviços web, utilizada para otimizar as ações de cadastro comerciais, de logística e manutenção, visto que é possível trabalhar com dados visualizados em mapas, e não apenas em planilhas de 'números frios'. Com essa ferramenta as áreas podem ser mapeadas de acordo com vários filtros e aproximar a visualização desde o mapa de Pernambuco até um ambiente de quadras ou mesmo chegar no nível das ligações e fachadas das residências. Esse sistema integra o cadastro de clientes e informações das redes de água e esgoto (Compesa, 2016).

4.2 ÁREA DE ESTUDO

A área para aquisição de dados está localizada no município de Belo Jardim, estado de Pernambuco, como mostra a figura 2. Belo Jardim insere-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema com montanhas em alguns pontos com mais de 1.000 de altitude próximos a divisa com o município de Brejo da Madre de Deus, na serra dos Ventos. A vegetação nativa é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, típica do agreste. O polígono de interesse está localizado geograficamente a uma latitude $08^{\circ}20'08''$ sul e a uma longitude $36^{\circ}25'27''$ oeste, estando a uma altitude de 608 metros. Sua população de acordo com (IBGE, 2020) no último censo foi estimada em 76.687 pessoas habitantes.

Figura 2 - Mapa de Localização de Belo Jardim-PE

Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: A Autora, 2020.

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para execução desse projeto foram:

a) O VANT utilizado para o imageamento da área de interesse e obtenção das

imagens foi da fabricante DJI, modelo Phantom 4 Pro, mostrado na figura 3. Na figura 5 mostra as especificações dos parâmetros da câmera acoplada ao VANT;

- b) Receptor GNSS GTRi L1 e L2 Glonass RTK para a medição dos pontos de apoio e pontos de checagem no campo, demonstrado na figura 4;
- c) Piquetes de madeira de 30 e 50 centímetros de altura, sendo fixado um prego indicando o seu centro;
- d) QGIS Versão 2.18.13, software de licença livre. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU;
- e) Aplicativo DJI Ground Station Pro para o plano de voo;
 - CPU: Intel Core i7 8700 3.2GHz 12MB, RAM: 32 Gb DDR4, SSD: 480GB ScanDisk Plus G26.
- f) Agisoft PhotoScan na versão 1.4.2 foi utilizado para o processamento dos dados obtidos de campo.

Figura 3 - DJI Phantom4 Pro



Fonte: COMPESA, 2019.

Figura 4 - Receptor GNSS GTRi L1 e L2 Glonass RTK



Fonte: COMPESA, 2019.

Figura 5 - Parâmetros da câmera Phantom 4 Pro

Modelo	FC6310 (8.8mm)
Distancia focal	8.8 mm
Tamanho do pixel	2.41 x 2.41
Largura da imagem	5472 x 3648

Fonte: COMPESA, 2019.

4.3 MÉTODOS

Neste capítulo será descrito os métodos utilizados no trabalho.

4.3.1 Levantamento por GNSS

Para garantir a acurácia posicional de um projeto, é necessário fazer uso de pontos de apoio e/ou optar por soluções como RTK/PPK. No trabalho foi usado o RTK, método de posicionamento cinemático, no qual foram usados um par de receptores GNSS GTRi L1 e L2 Glonass RTK que forneceram posições em tempo real. Um dos receptores fica fixo no solo em um ponto de coordenadas conhecidas, e o outro receptor fica embarcado no drone, realizando as correções e fornecendo as posições em tempo real. Uma desvantagem dessa tecnologia é que ela é altamente dependente

da qualidade do sinal de rádio que é responsável pela comunicação entre os receptores fixo e móvel.

(FREIBERGER Jr, 2002) afirma que, na técnica RTK, a estação base recebe os dados brutos da estação móvel, gera e transmite as correções diferenciais para a estação móvel, que utiliza essas informações para determinar a sua posição. O resultado deste tipo de posicionamento tem como, coordenadas corrigidas com precisão na ordem subdecimétrica.

O método de posicionamento geodésico dos pontos de controle foi baseado na proposta de BRUCH et al. (2019), onde primeiramente são materializados os alvos para o reconhecimento nas imagens.

Figura 6 - Rádio receptor posicionado em um local mais alto da cidade



Fonte: COMPESA, 2019.

Figura 7- Alvos lançados no terreno



Fonte: COMPESA, 2019.

4.3.2 Pontos de Apoio

Para a coleta dos pontos de apoio e de checagem mostrados na tabela 2 e 3, foi utilizado um receptor de dupla frequência L1/L2. Colocou-se o GNSS (Base) para início na Estação EG032 cuja as coordenadas UTM (fuso 24s): (E-784061.396 m, N-9078455.094 m, Altitude Ortométrica 621,343 m).

Foi realizada uma medição com o método de posicionamento RTK em cada ponto escolhido no terreno. Foram utilizados um total de 12 pontos de apoio e 11 pontos de verificação), que foram usados na análise da acurácia posicional planimétrica. Esses pontos de checagem foram escolhidos visando uma distribuição mais espaçada possível entre os pontos para otimizar ao máximo a análise estatística.

É importante ressaltar que os pontos de apoio utilizados para a geração do ortomosaico, não podem ser utilizados para fim de verificação da qualidade do produto final, ou seja, não são usados para a verificação e validação da qualidade do processamento, pois, para ser verificada a qualidade do produto, os pontos de verificação serão comparados em relação aos pontos de apoio e, por conta disso deverão ter tratados distintamente.

Tabela 2 – Pontos de apoio

PONTOS DE APOIO	EAST (E)	NORTH (N)	ALTI. (H)
PA01	785208.384	9076391.280	598.852
PA03	784949.238	9076611.285	615.053
PA04	784978.490	9076909.119	614.704
PA08	785623.036	9076355.745	592.810
PA10	785003.723	9076645.737	612.820
PA11	784332.095	9076901.598	636.725
PA13	784434.608	9076689.672	618.503
PA17	784966.216	9077104.211	615.332
PA19	785327.539	9077163.143	603.999
PA21	785284.753	9076879.426	613.562
PA23	785184.358	9076637.376	600.455
PA24	784563.408	9077170.152	600.615

Fonte: A Autora, 2020.

Tabela 3 – Pontos de checagem

PONTOS DE CHECK	EAST (E)	NORTH (N)	ALTI. (H)
PA02	785067.872	9076518.423	610.128
PA05	785219.018	9077169.111	609.358
PA06	785440.759	9076644.312	607.560
PA07	785522.256	9076513.998	601.528
PA09	-	-	-
PA12	784092.463	9076820.298	629.872
PA14	784626.460	9076787.488	618.534
PA15	784882.631	9076693.669	613.359

PA16	784776.064	9077036.186	617.690
PA18	785092.186	9077262.344	605.052
PA20	785431.581	9076891.251	611.121
PA22	785140.637	9076779.437	609.397

Fonte: A Autora, 2020.

4.3.3 Levantamento Aerofotogramétrico

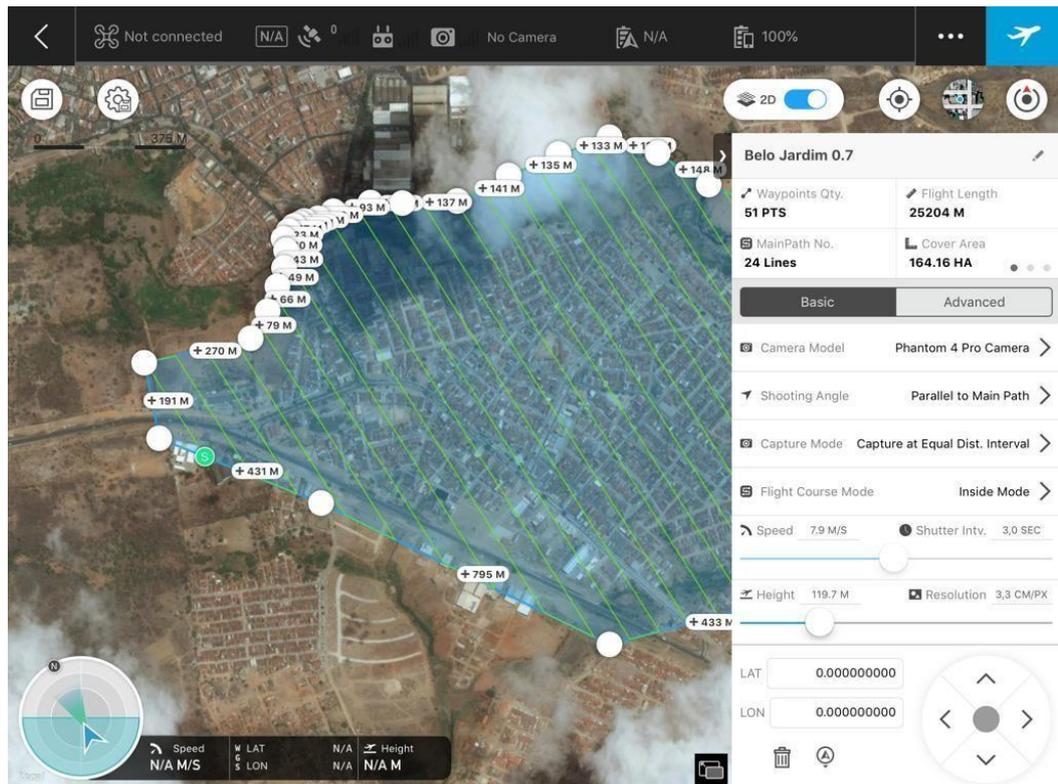
Para o aerolevanteamento da área de estudo utilizou-se um VANT de asa rotativa, modelo Phantom 4 Pro, fabricado pela empresa chinesa DJI.

Um VANT é uma aeronave que não conta com tripulação. No âmbito popular, os VANTs são conhecidos como drones: um equipamento de pequeno porte remotamente controlado que possui uma câmera fotográfica acoplada que gera imagens de alta resolução.

Buscando aumentar a precisão do levantamento, principalmente para manter a taxa de sobreposição das imagens, altura e velocidade de voo, foi criado um plano de voo através do aplicativo *DJI Ground Station Pro*. Esse aplicativo permite o usuário planejar o voo pela inserção de *waypoints*, tendo em vista informações necessárias como: altitude do voo, velocidade, tempo de voo, captura das fotos, sobreposição das imagens, entre outros parâmetros. É um dos melhores aplicativos para planejamento de voo, além de ser um software gratuito, entretanto, só funciona em IPAD.

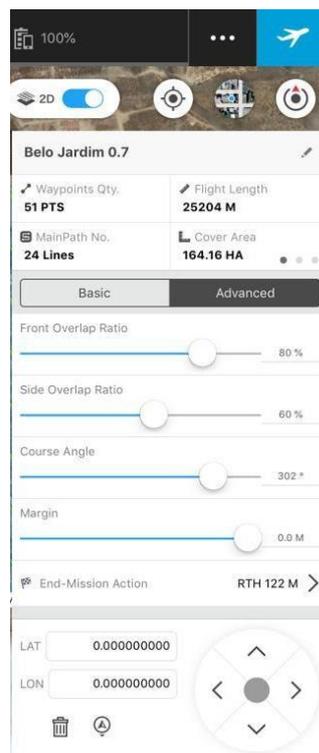
Na área de estudo, foram realizados voos de reconhecimento do terreno além de ajustes e calibração da câmera para o cobrimento fotográfico de todo o perímetro. A área de cobertura trabalhada foi de 164.14ha, chamada de “cover área” como mostra nas configurações do plano de voo. As sobreposições foram planejadas em forma de 80% frontal e 60% lateral. A altura de voo foi igual à 120 m, com GSD 3,3 cm/px. É importante perceber que, quanto mais baixo for o voo, menor será o GSD e mais tempo de voo será necessário e conseqüentemente mais baterias, ou seja, quanto mais aumenta a área de mapeamento, é necessário de mais bateria para o projeto, enquanto isso, a velocidade do voo é definida de acordo com a escolha da altitude.

Figura 8 - Planejamento de voo realizado no aplicativo DJI Ground Station Pro



Fonte: COMPESA, 2019.

Figura 9 - Planejamento de voo realizado no aplicativo DJI Ground Station Pro



Fonte: COMPESA, 2019.

4.3.4 Processamento

O procedimento computacional que envolve o processamento das imagens do aerolevante contou com a utilização do *software* Argisoft Photoscan na versão 1.4.2. Para verificar as medições e projeções dos Modelos Digitais de Elevação e Modelo Digital de Terreno, foram utilizados os softwares Global Mapper 18 QGIS e MAPGEO 2015.

Um processamento a parte foi realizado no software Argisoft Photoscan, para que fosse feita a geração do Modelo Digital de Terreno, de maneira que fossem classificadas as edificações, as vegetações médias e altas e outros objetos com inclinação que não fosse caracterizada como terreno, sempre considerando a diferença nível e inclinação do terreno.

O propósito do processamento de fotografias aéreas com software Agisoft PhotoScan é de construir um modelo tridimensional da área mapeada do pesquisador, e realizar a exportação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e modelo digital de terreno/superfície (MDT/MDS) e a ortofoto para diversas aplicações.

4.3.5 Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais - Planimetria e Erro Médio Quadrático –EMQ (Root Mean Square -RMS).

Os cálculos das análises foram desenvolvidos através da aplicabilidade de fórmulas utilizadas como instrumento para indicar o padrão de exatidão cartográfica adequado para um produto geoespacial que seja baseado no erro máximo admissível (EM) e no erro-padrão (EP) para a planimetria.

Foram seguidos os seguintes passos de acordo com o que diz (DSG, 2017):

- 1) Pontos de controle são selecionados com precisão pelo menos três vezes superior ao produto vai ser verificado. Esses pontos devem ser materializados e identificados no terreno e no produto. O processo de avaliação é quem determina o tamanho da amostra a ser usada.
- 2) Fazer o cálculo do erro em cada componente planimétrica para os pontos que foram considerados. As identificações são determinadas de maneira que,

sufixo “t” é referente aos pontos do produto que serão testados e para os pontos de controle são identificados pelo sufixo “r”.

$$e_x = x_t - x_r$$

$$e_y = x_t - x_r$$

- 3) Para o terceiro passo, deve ser feito o cálculo da componente horizontal dos erros para cada ponto “i” da amostra:

$$e_{Hi} = \sqrt{e^2_{xi} + e^2_{yi}}$$

- 4) Calcular o erro médio quadrático (EMQH) dos erros da amostra:

$$EMQ_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e^2_{Hi})}{n}}$$

- 5) Comparar cada valor de eHi com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme” e encerra-se a medida.
- 6) Comparar o valor de EMQH com o erro-padrão da tabela PEC para a classe identificada no passo 5. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo 5. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.

5 DESCRIÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISES

Este trabalho teve como objetivo, avaliar a qualidade do método de aerolevanteamento através do RPA, no qual serão analisadas as potencialidades de um produto cartográfico a partir de um aerolevanteamento considerado de baixo custo para fins de cadastro técnico multifinalitário. Sendo assim, o intuito foi gerar uma ortoimagem e posteriormente classificar e verificar a partir de uma discussão, se a mesma atende aos parâmetros necessários para realizar o CTM.

Sabe-se que a fotogrametria convencional continua sendo a melhor ferramenta para o recobrimento de grandes extensões de mapeamento em escala do mapeamento sistemático, entretanto, é importante analisar se continua sendo viável seu uso nas aplicações do método em áreas de pequena e média dimensão, ou para levantamentos por períodos curtos, principalmente do ponto de vista econômico. Com isso, daremos inícios as discussões que foram levantadas durante a pesquisa.

Foi possível atestar na pesquisa, a partir dos voos realizados com o VANT DJI Phantom 4 PRO, através das demonstrações de forma qualitativa e quantitativa, a qualidade das imagens capturadas através de um levantamento fotogramétrico com o uso de VANT, comparada com a ortoimagem fornecida pelo PE3D, como pode ser visto abaixo:

Figuras 10 - Recorte de ortoimagem fornecida pela pelo PE3D



Fonte: A Autora, 2020.

Figura 11 - Recorte de foto capturada por RPA.



Fonte: A Autora, 2020.

Pôde-se comparar que, a resolução da ortoimagem obtida pelo RPA se destoa da ortoimagem fornecida pelo PE3D, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11. A Figura 10 conta com uma resolução espacial de 50 cm, o que permite uma boa distinção dos alvos, mas é muito inferior comparada com a imagem 11, imagem obtida com baixa altitude, que possui uma resolução de 3cm por pixel, o que viabiliza sua utilização para mapeamentos e atualizações cartográficas, tendo um detalhamento superior ao que é obtido por satélites ou aeronaves tripuladas.

Como foi circulado de amarelo, na Figura 11 observa-se a nitidez da imagem em que são destacados detalhes referentes a divisão de lotes, identificação de objetos, como por exemplo, os detalhes de caixas d'água. A identificação para realização de uma vetorização concisa se torna muito mais fácil e clara quando a imagem tem uma alta resolução. Quanto menor o tamanho do pixel maior é a resolução da imagem e, conseqüentemente, mais precisa é a discriminação dos objetos imageados. Com isso, o uso do RPA oferece essa vantagem, pois, por

conseguir voar mais próximo da área a ser mapeada, tem uma qualidade melhor para o GSD, que está relacionado à altura do voo e a resolução da câmera utilizada. Hoje em dia temos muitas câmeras de qualidade no mercado, na qual podem ser acopladas no RPA.

Nesse projeto, a câmera acoplada tinha como características as especificações como mostra a figura 12:

Figura 12 - Configurações da câmera do RPA

Sensor	1" CMOS; Effective pixels: 20M
Lens	FOV (Field of View) 84°, 24 mm (35 mm format equivalent), f/2.8 - f/11.
	auto focus at 1 m - ∞
ISO Range	Video: 100 - 3200 (Auto); 100 - 6400 (Manual)
	Photo: 100 - 3200 (Auto); 100- 12800 (Manual)
Mechanical Shutter	8 - 1/2000 s
Electronic Shutter	8 - 1/8000 s
Max Image Size	3:2 Aspect Ratio: 5472 × 3648
	4:3 Aspect Ratio: 4864 × 3648
	16:9 Aspect Ratio: 5472 × 3078

Fonte: DJI, 2017.

Uma câmera de alta resolução, com 20 megapixel é capaz de filmar em 4k, as imagens gravadas nessa resolução e reproduzidas em aparelhos compatíveis, tornam as imagens mais nítidas, brilhantes e com melhor variação de cores facilitando também a percepção dos detalhes.

Como diz (Sampaio, 2019), as imagens de média e alta resolução que são obtidas por método de processos fotogramétricos, são uma fonte importante de dados para os SIG's. De maneira que, tais imagens, muitas vezes obtidas por um custo mais baixo, podem ser utilizadas como fundo para a digitalização de feições geográficas, desde que apropriadamente registradas.

É interessante comentar que, a aquisição de dados em um planejamento fotogramétrico sem o uso de pontos de controle para alguns projetos pode ser aplicável em projetos em que o produto gerado não necessariamente precise ser absolutamente acurado, pois os produtos sem a utilização de pontos de apoio em solo não garantem a acurácia posicional, mas o resultado mesmo assim pode ser que seja relativamente preciso. Não há como atestar a confiabilidade em relação a acurácia se não forem utilizados pontos de apoio em solo.

Sendo assim, é importante destacar que a implantação de pontos de controle, em campo, demanda tempo e recursos extras, além do próprio RPA e respectivo software de processamento digital de imagens, receptores GNSS, acessórios e softwares específicos. Uma infraestrutura que encarece o mapeamento fotogramétrico via RPA. Mesmo com tudo isso, o custo do trabalho com uso de RPA em relação ao método convencional se torna muito mais econômico logo de início com o planejamento. Uma operação simples em campo pode ser realizada apenas com uma ou duas pessoas no local: é difícil de acreditar, mas, é possível realizar todo um trabalho de aquisição de dados com apenas uma pessoa em campo. Ela pode dirigir o carro até o local, planejar o voo, montar o equipamento, acompanhar o voo e retornar para o escritório. Aí sim, pode ser demandado o resto do trabalho para mais pessoas da equipe.

Nesse projeto como havia interesse de um trabalho acurado para geração de uma ortofoto na escala de 1:1000, se fez uso dos pontos de controle, mas segundo Galvão (2014), não ocorre alteração significativa na qualidade de caracterização de áreas e perímetros com ou sem a utilização de pontos de controle, indicando, nessas condições, que a inserção de pontos de controle no terreno pode ser descartada, mas a utilização de pontos de controle pode melhorar o erro médio relativo à dimensão do pixel.

Apesar de alguns contratempos como todo método pode apresentar, os VANTs apresentam vantagens muito interessantes que podem ser muito bem aproveitadas, como a capacidade e habilidade de aquisição de imagens em tempo real e com menor custo (Eisenbeiss, 2009).

Silva (2013) aponta outra vantagem, na qual se dá na possibilidade de adquirir dados com grande detalhamento em áreas de difícil acesso, como por exemplo: áreas de assentamentos irregulares ou áreas que possam trazer riscos, como: algumas comunidades perigosas. Além disso o VANT pode oferecer uma alta resolução temporal e espacial.

5.1 ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM A PEC-PCD

As ortofotos estão sendo cada vez mais utilizadas para se extrair informações e dados para a implantação e elaboração de um cadastro técnico, com isso,

analisamos e julgamos a real qualidade dos dados de maneira quantitativa, para que eles fossem usados na confecção de cartas cadastrais, que segundo a (NBR 16166, 1998), deve estar na escala de 1:1000.

De acordo com (Maranhao, 2013), ele diz que a acurácia posicional é obtida a partir do cálculo das diferenças entre as coordenadas de feições em uma fonte de maior referência e seus pontos homólogos no produto a ser avaliado, comparando o desvio padrão obtido com o valor correspondente a escala do produto e verificando se o produto possui acurácia posicional mínima exigida.

Como vimos na fundamentação teórica, o decreto nº 89.817 não prevê um número mínimo de pontos de verificação necessários à comprovação da acurácia dos documentos, refletindo os métodos e tecnologias disponíveis à época.

O enquadramento das classes no PEC-PCD é baseado nas estatísticas de 90% dos pontos coletados no produto cartográfico em relação às coordenadas dos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão. Para que sejam enquadrados nas classes do PEC-PCD, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos devem resultar em valores iguais ou inferiores de erro máximo (EM) e de erro padrão (EP) previstos para cada produto (DSG, 2017).

Pontos	E(GPS)	N(GPS)	E(Orto)	N(Orto)	Errox	Errox ²	Erroy	Erroy ²	Erroh	Erroh ²	Validação EM
PA02	785067,873	9076518,424	785067,87	9076518,39	0,000	0,000	- 0,033	0,001	0,033	0,001	Inferior
PA05	785219,019	9077169,112	785219,06	9077169,07	0,040	0,002	- 0,046	0,002	0,061	0,004	Inferior
PA06	785440,759	9076644,313	785440,80	9076644,29	0,040	0,002	- 0,020	0,000	0,044	0,002	Inferior
PA07	785522,256	9076513,999	785522,26	9076513,95	0,000	0,000	- 0,046	0,002	0,046	0,002	Inferior
PA12	784092,463	9076820,298	784092,50	9076820,32	0,040	0,002	0,020	0,000	0,044	0,002	Inferior
PA14	784626,460	9076787,488	784626,49	9076787,48	0,026	0,001	- 0,007	0,000	0,027	0,001	Inferior
PA15	784882,631	9076693,670	784882,63	9076693,62	0,000	0,000	- 0,046	0,002	0,046	0,002	Inferior
PA16	784776,065	9077036,186	784776,06	9077036,17	0,000	0,000	0,020	0,000	0,020	0,000	Inferior
PA18	785092,187	9077262,345	785092,21	9077262,35	0,026	0,001	0,007	0,000	0,027	0,001	Inferior
PA20	785431,582	9076891,251	785431,58	9076891,23	0,000	0,000	- 0,020	0,000	0,020	0,000	Inferior
PA22	785140,637	9076779,438	785140,65	9076779,42	0,013	0,000	- 0,020	0,000	0,024	0,001	Inferior

Fonte: A Autora, 2020.

Tabela 5 - Resultado da análise

Medida	Valor	Status
EMQxy	0,04	-
Conformidade	100%	APROVADO
Teste EP (Erro Padrão)	0,17	APROVADO

Fonte: A Autora, 2020.

Foram selecionados um total de 11 pontos de checagem, analisados na tabela 4, para que fosse realizada a validação para um produto na escala de 1:1000. O início desse processo foi realizado por meio dos cálculos dos erros em cada componente planimétrica, como foi demonstrado no passo a passo do tópico 4.4.5 desta pesquisa. Foi calculado o Delta x (Errox), para que em seguida fosse calculado o EMQx (Erro médio quadrático em x), para isso, foi preciso somar todos os valores em x e dividir pela quantidade de pontos, ou seja, realizou-se a média desses 11 valores em x. Do mesmo modo é feito o processo para o EMQy (erro médio quadrático em y). Para o Errox², deve-se tirar a raiz da média que foi feita anteriormente, fazendo igualmente para com os dados de y, encontrando o Erroy².

Para o cálculo do EMQxy, foram somados os valores de (EMQx)² e (EMQy)² e

tirada a raiz, na qual obtivemos o valor de 0,04m de EMQxy.

O erro pode ser demonstrado em cada ponto analisado na coluna Erroy, em que pode ser visto que todos os valores foram aprovados, estando todos com um valor menor que 0,28 de Erro Médio (EM), valor adequado para Classe A da PED-PCD como mostra a tabela 6. O EMQxy foi aprovado do teste de erro padrão, estando dentro do valor de 0,17, como define a tabela 6. Sendo assim, visto a necessidade de confiança e precisão na qual deve ter um CTM, para a produção da ortofoto e a realização de um estudo aprofundado e representativo, a precisão que obtivemos foi aprovada dentro da “Classe A” para um produto na escala de 1:1000, de acordo com a classificação da PEC-PCD como mostra a tabela (6) abaixo:

Tabela 6 - Valores de erro médio (EM) e erro padrão (EP), em metros na planimetria para CDGV em grandes escalas.

Tipo	PEC	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		EM	EP	EM	EP	EM	EP	EM	EP
Planimetria	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: DSG, 2011.

Após realizadas todas as etapas descritas na pesquisa, foi possível obter por meio dos critérios definidos, a classificação da qualidade do produto cartográfico final. A ortoimagem foi obtida com a resolução (GSD) de 3.3 centímetros, parâmetro este que atende a NBR 14166 para aplicação no CTM, (DSG, 2017) contextualiza que, para o projeto de uma planta cadastral municipal, a escala deve ser de 1:1000, tendo como finalidade primordial os estudos sobre alinhamentos, nivelamentos e emplacements de edificações, servindo de base aos cadastros de infraestrutura urbana (água, esgoto, drenagem, pavimentação, força e luz, telefone, gás, entre outros), apoiando ainda a construção das plantas de quadras do Cadastro Imobiliário Fiscal, e o cadastro fundiário para registros públicos e cadastro de equipamentos comunitários.

Figura 13 - Resultado ampliado da Ortoimagem aerolevantada por VANT



Fonte: A Autora, 2020.

Figura 14 - Ortoimagem do PE3D ampliada

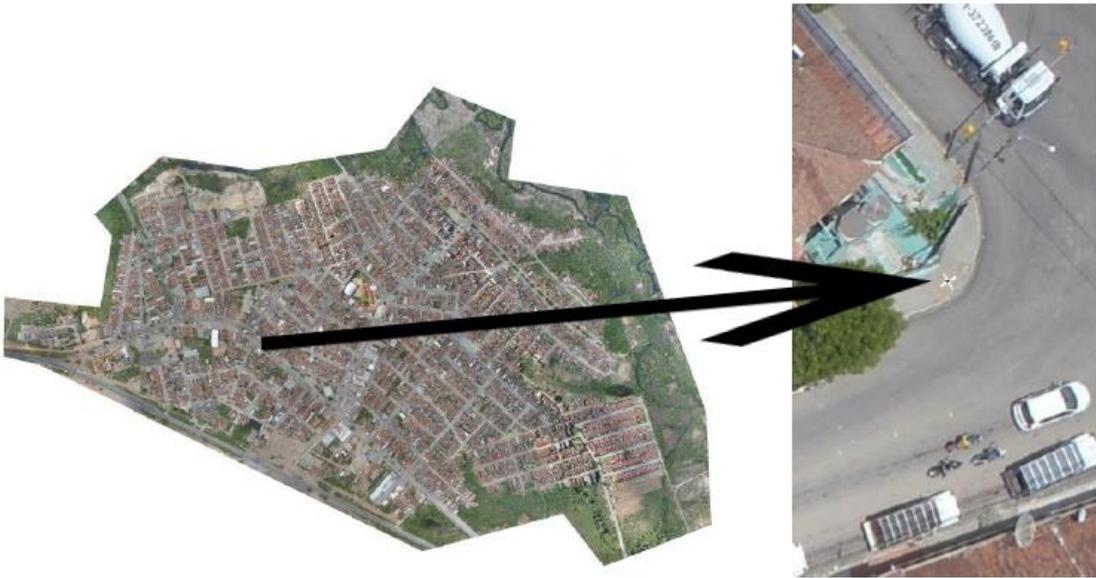


Fonte: A Autora, 2020.

5.2 GERAÇÃO DO ORTOMOSAICO, MDT, MDE.

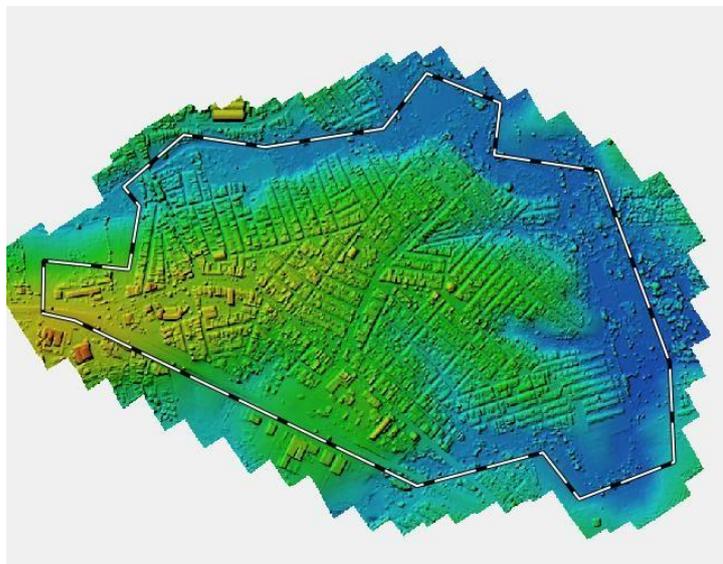
Dado a qualidade do processamento, foi possível observar que o ortomosaico foi apto para geração do Modelo Digital de Elevação, Modelo Digital do Terreno, como mostram as figuras abaixo:

Figura 15 - Ortomosaico ao lado da demonstração da qualidade de sua imagem possibilitada pelo GSD



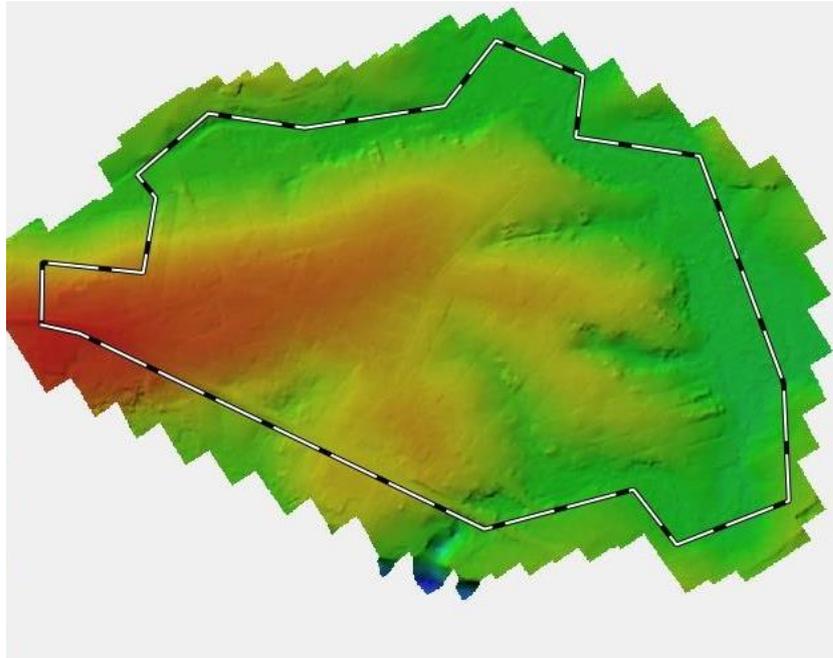
Fonte: A Autora, 2020.

Figura 16 - Modelo digital de elevação



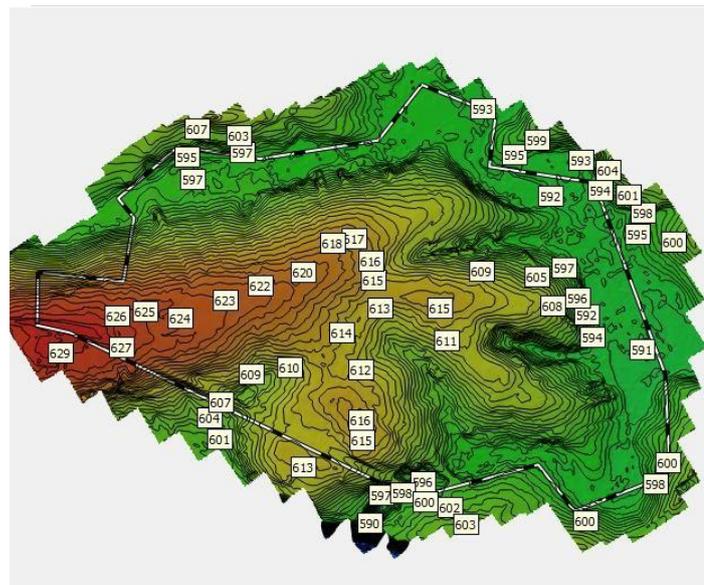
Fonte: COMPESA, 2020.

Figura 17 - Modelo digital do terreno



Fonte: COMPESA, 2020.

Figura 18 - Modelo digital do terreno com curvas de nível



Fonte: COMPESA, 2020.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho utilizou-se um RPA de baixo custo que foi comparado com o aerolevante pelo método convencional, gerando uma ortomagem para fins de cadastro. Sendo possível, por meio de uma metodologia avaliar os produtos cartográficos obtidos por meio de técnicas de aerofotogrametria e sua classificação da acurácia posicional conforme foi demonstrado na revisão bibliográfica sobre o Decreto Lei nº 89.817. Os resultados da classificação da ortomagem possui uma resolução espacial de 3,3 centímetros, o que possibilita a utilização em várias áreas do cadastro técnico multifinalitário.

O produto gerado para a área de estudo de 164.14ha foi classificado como “acurado” para uma escala de 1/1000. O resultado da PED-PCD foi “Classe A” de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, juntamente com as tolerâncias da ET-CQDG. A análise de precisão mostrou que a ortomagem é precisa. Sendo assim, de acordo com a classificação do PEC-PCD, e tendo a NBR 14.166 como referência, conclui que o ortomagem na qual foi gerada pode ser aplicada em diversas áreas do Cadastro Técnico Multifinalitário, como por exemplo: para produção de uma planta de quadra, onde a escala mínima para executar é de 1:1000 ou maior.

Com este estudo, foi possível chegar à conclusão que é necessário investir em tecnologia avançada na área de cadastro, para que de alguma forma os gestores dos municípios, principalmente de pequeno/médio porte, possam implementar e atualizar a base cadastral por meio de novas alternativas que gerem bons resultados e com baixo custo, sendo assim, conseguir por meio dessas informações, que seja realizada a tributação de impostos correta, acompanhando a expansão urbana e desenvolvimento da cidade para que assim seja realizado uma melhor gestão do município.

Este estudo teve como um dos objetivos contribuir de alguma forma para que gestores dos municípios de pequeno porte possam observar que é possível implementar ou atualizar o CTM por meio de novas alternativas com custo menor e bons resultados, e conseqüentemente conseguir por meio dessas informações realizar a tributação de impostos, acompanhar a expansão urbana e desenvolvimento da cidade, auxiliando para uma melhor gestão do município. Dessa forma, pode ser

concluído que a utilização de ortoimagem originada de aeronaves remotamente pilotadas é um produto viável para o cadastro em municípios de pequeno/médio porte, desde que sejam respeitados as leis e os princípios da fotogrametria e cartografia.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT. **Agisoft photoscan user manual professional edition**, Version 1.0.0. 2013. Disponível em: <http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf> Acesso em: 25 set. 2020.
- BRASIL. **Portaria n. 511, de 6 de dezembro de 2009**. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Brasília, dez 2009.
- BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva; COELHO FILHO, Luiz Carlos Teixeira. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.
- BRUCH, A. F.; CIROLINI, A.; THUM, A. B.; CARNEIRO, M. Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, 2019.
- CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro imobiliário e registro de imóveis**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Sérgio Antonio Fabris, 2003. 272p.
- CARNEIRO, A. F. T. Cadastro e registro de imóveis em áreas rurais e urbanas: a Lei 10.267/2001 e experiências nos municípios de São Paulo e Santo André. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 53, p. 73-81, dez. 2001.
- CARVALHO, ROBERTO C. **Estudo das distorções do sistema geodésico de referência da região metropolitana do Recife**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- COMPESA. **Sistema da Compesa integra cadastro de clientes e informações das redes de água e esgoto**. Disponível em: <<https://servicos.compesa.com.br/sistema-da-compesa-integra-cadastro-de-clientes-e-informacoes-das-redes-de-agua-e-esgoto/6>> de set. 2016. Acesso em: 31 out. 2020.
- DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO, Brasília-DF, 10 de fevereiro de 2016.
- DJI. **Phantom 3 Standard**. Disponível em: < <https://www.dji.com/phantom-3-standard/app>>. Acesso em: 25 SET. 2020.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **ET-CQDG**: Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais. 1. ed. Brasília: DSG, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais**. Versão 2.1.3. 2011.
- EISENBEISS, H. **VANT Photogrammetry**. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa populacional 2020 IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 29 de agosto de 2019. Acesso em: 24 jun. 2020.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

FIG. **Statement on the cadastre**. International Federation of Surveyors, FIG bureau, Canberra, Australia, 1995. Disponível em: http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html. Acesso em: 23 set. 2020.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNR**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

GALVÃO, G. M. **Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. 2014.

LEITE, M. E; ALMEIDA, M. I. S; VELOSO, G. A; FERREIRA, M. F. F. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento da dinâmica do uso do solo na Bacia do Rio Pacuí, no norte de Minas Gerais, nos anos de 1989,1999 e 2009. **Revista do departamento de geografia – USP**, São Paulo, v. 23, 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47211/50947>. Data de acesso: 18 Set. 2020.

NAVARRO, J. D.; GARCIA, A.; RIBEIRO, G. L.; SZESZ, A. J.; VAZ, M. S. M. G. **Índices de vegetação para imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados**. In: XSBIAGRO, 10., 2015. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Anais. Ponta Grossa, 2015.

PHANTON 4 PRO ESPECIFICAÇÕES. **Dji**, 2017. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/phantom-4-pro/info>>. Acesso em: 25 Set. 2020.

ROCHA, CARLOS H. O; PIORNO, J. L; FREIRE, R. R; MEDINA, I. A. **Uma Discussão Histórica sobre a Fotogrametria**. In: Anais XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2010.

ROSÉS, M. **Conceptos para implementar aplicacione georreferenciadas para Internet**. Curso de Geomática. Codima. Barcelona. 2004.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. **Cartografia geral, digital e temática**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2018.

SILVA. Daniel Carneiro. Evolução da fotogrametria no Brasil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil. **Rev. Bras. Geom.** ISSN 2317-4285, v.3, n. 2, p.081-96, jul/dez. 2015.

SILVA, E. *et al.* Considerações sobre a implantação de um cadastro técnico multifinalitário. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis 2002.