

GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEL URBANO MEDIANTE LEVANTAMENTO POR VANT – PHANTOM 4 PRO

Georeferencing urban property with the small UAVS – Phantom 4 Pro survey

Mariana de Sá Rodrigues da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação e Arquitetura e Urbanismo

Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n - Trindade, Florianópolis

maridesa.arquitetura@gmail.com

Ricardo Augusto Eger

Universidade Federal de Santa Catarina

Curso de Graduação em Engenharia Civil

Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n - Trindade, Florianópolis

ricardo.gluh@gmail.com

Yuzi Anai Zanardo Rosenfeldt

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n - Trindade, Florianópolis

yuzi.zanardo@ufsc.br

Carlos Loch

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Transportes e Gestão Territorial

Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/n - Trindade, Florianópolis

carlos.loch@ufsc.br

Resumo:

O ambiente urbano é dinâmico, se apresenta em constante transformação. No Brasil, foi publicado recentemente um decreto de regularização fundiária para o cadastro - Decreto nº 9.310 de 2018 15 de março que fixa 8,0 centímetros como erro máximo de posicionamento esférico para o vértice de uma propriedade urbana georreferenciada por Global Navigation Satellite System - GNSS ou ortofotografia aérea. Atualmente se tem notado um crescente uso de Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT para sensoriamento remoto. Este trabalho tem como objetivo verificar o uso de diferentes quantidades de Pontos de Controle Terrestre – PCT no processamento de ortofotomosaico que devem satisfazer a qualidade necessária para o georreferenciamento urbano. O levantamento aéreo com VANT foi realizado com o Phantom 4 Pro e os PCT foram levantados por equipamento GNSS. Os resultados apresentados demonstraram que o mapeamento limitado à uma área de 1,0 km² atende a qualidade posicional para o georreferenciamento das parcelas urbanas para o cadastro exigida pela atual política de regularização fundiária, sendo que os resultados dos erros posicionais para os ortofotomosaicos processados com 30, 20, 16 e 12 PCT não apresentaram diferença representativa. Contudo, o processamento com 20 PCT foi o que obteve melhor resultado, portanto pode ser considerado um número suficiente a ser utilizado. O trabalho se limita ao levantamento de uma área plana e a verificação somente da acurácia planimétrica.

Palavras-chave: VANT de pequeno porte, Processamento de Imagem Digital, PCT, Georreferenciamento Urbano, Acurácia posicional.

Abstract

The urban environment is dynamic and constantly in change. In Brazil, it has been recently published a decree for urban land regulation for the cadaster - Decree No 9.310 of 2018 15 march which fixes 8,0 centimeters as the maximum spherical positional error for vertex of an urban property stock being georeferenced by Global Navigation Satellite System - GNSS equipment or aerial orthophotograph. Nowadays it has been noticed a growing use of Unmanned Aircraft System – UAS for remote sensing. This work aims to verify the use of different amounts of Ground Control Points - GCP in orthophoto-mosaic processing that must satisfy the quality required for urban georeferencing. The aerial survey with UAV was performed with the Phantom 4 Pro and the PCT were surveyed by GNSS equipment. The results showed that the mapping limited to an area of 1.0 km² meets the positional quality for the georeferencing of the urban parcels to the cadaster required by the current policy of land regularization, and the results of the positional errors for orthophoto-mosaics processed with 30, 20, 16 and 12 GCP showed no representative difference. However, the 20 PCT processing was the one that obtained the best result, therefore it can be considered a sufficient number to be used. The work is limited to the survey of a flat area and the verification only of the planimetric accuracy.

Keywords: Small UAS, Digital Image Processing, GCP, Urban Parcel Georeferencing, Positional Accuracy.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente urbano é dinâmico e está em constantemente transformação, ou seja, alteração da ocupação do solo, o que pode acarretar no comprometimento da qualidade de vida da população devido a impermeabilização do solo e o alto índice de supressão da vegetação, como por exemplo: (i) alteração do clima, na cidade a tendência é termos um clima mais quente que no campo; (ii) ocorrência de enchentes e enxurradas, as bacias na cidade tendem a ter mais volume de escoamento superficial de água para seus canais e rios; (iii) poluição do ar, as cidades tendem a serem grandes produtoras de dióxido de carbono e baixo poder de absorção deste e; (iv) diminuição da biodiversidade.

No Brasil, o processo de uso e ocupação do solo urbano ocorre muitas vezes mediante invasões de terras por diferentes grupos socioeconômicos ou por empreendimentos e atividades irregulares ou regulamentadas por alterações legais em prol de favorecimentos particulares. Tal prática resulta em prejuízos ao ordenamento territorial urbano, tanto pela falta de arrecadação tributária imobiliária quanto pela oferta de equipamentos urbanos suficientes à demanda de ocupação urbana.

O Cadastro Técnico Multifinalitário - CTM é considerado um instrumento chave para monitorar o crescimento dos municípios, definir estratégias de planejamento, analisar o impacto de intervenções advindas do planejamento, entre outros (CUNHA; ERBA, 2010). Segundo a FIG – Federação Internacional de Geômetras, Cadastro é um inventário público de dados metodicamente organizados, baseado no levantamento dos limites das parcelas existentes em um determinado território. De acordo com Carneiro, Erba e Augusto (2012), a célula básica de um cadastro territorial multifinalitário deve ser a parcela, que pode ser definida como a menor unidade territorial cujo levantamento seja jurídica e economicamente relevante.

Em área urbana, o Cadastro Técnico, a partir da planta cadastral (desde de que esteja em escalas grandes: 1/2.000, 1/1.000, 1/500), permite a análise no nível da parcela cadastral, possibilitando assim, o uso de sistemas cadastrais como fonte de informação para o planejamento

urbano (LOCH; ERBA, 2007), sendo possível o reconhecimento e a identificação dos autores que promovem as alterações no meio.

Até recentemente o cadastro urbano não possuía legislação que impusesse alguma padronização de procedimentos. Somente com a instituição do Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais - Sinter pelo decreto nº 8.764 de 10 de maio de 2016 (BRASIL, 2016) passa a haver a necessidade de padronização de procedimentos. Este ano de 2018, o governo brasileiro publicou o Decreto nº 9.310 de 15 de março de 2018 (BRASIL, 2018) de regularização fundiária para o cadastro que fixa normas para o levantamento topográfico georreferenciado, devendo este ser realizado conforme as normas técnicas para serviços topográficos da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, as normas Técnicas da Cartografia Nacional e as normas técnicas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG. O decreto, estipula, em concordância ao código civil, oito centímetros como máximo erro de posicionamento esférico para o vértice referente a uma propriedade urbana, georreferenciado pelo Global Navigation Satellite System - equipamento GNSS ou ortofotografia aérea. Contudo este nível de exatidão não se encontra nas tabelas de Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC das especificações técnicas da DSG.

O Sensoriamento Remoto representa uma importante ferramenta na área de gestão e perícia ambiental. O desenvolvimento do processamento de informações de sensoriamento remoto vem ocorrendo em termos de melhor disponibilidade e menor dificuldade de acesso, novos sistemas sensores orbitais, novos procedimentos de processamento de imagem, desenvolvimento de hardware e software. Desde o final dos anos 80 uma vasta disponibilidade de imagens satélites multiespectrais digital tem estimulado o potencial destes dados para mapeamento espacial contínuo automático da superfície urbana para calcular os indicadores ecológicos. Acrescenta-se a estes o uso crescente do sensoriamento remoto mediante o uso de Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT que vem recebendo inovações tecnológicas constantes.

A fotogrametria é utilizada na obtenção de informação precisa a respeito do uso do solo por meio da interpretação e medição feitas a partir de fotografias aéreas. Para Silayo (2005), a fotogrametria é financeiramente interessante em áreas extensas e que possuam os limites das parcelas visíveis por meio aéreo, fazendo desta, a técnica ideal para a descrição dos limites, observando a necessidade de trabalhos de pontos de controle. Conforme colocado por Coelho e Brito (2007), um dos objetivos da fotogrametria é, justamente, reduzir o trabalho de campo no levantamento de coordenadas de um ou vários objetos e o tempo de obtenção destes dados.

De acordo com a necessidade de qualidade posicional para o georreferenciamento das parcelas urbanas para o cadastro, e conseqüentemente, na gestão e avaliação do uso e ocupação do solo urbano, acredita-se que o uso dos VANT para mapeamento do meio ambiente pode se apresentar como um método de baixo custo, fácil manipulação e possibilidade alta temporalidade. Em trabalho é produto de uma pesquisa que vem sendo desenvolvida sobre a utilização de imagens VANT para o mapeamento do solo urbano, em uma etapa anterior os autores constataram uma acurácia posicional em ortofotomosaico satisfatória para o levantamento de uma área de 1,0 km², diferentemente do teste feito em uma área maior de 2,8 km² que não apresentou acurácia que satisfizesse o erro máximo admitido para o posicionamento em área urbana. O objetivo deste trabalho foi de se verificar o uso de diferentes quantidades de Pontos de Controle Terrestre – PCT para o processamento de ortofotomosaico satisfazendo a qualidade necessária para o georreferenciamento urbano. O levantamento aéreo com VANT foi realizado com o Phantom 4

Pro que possui câmera CMOS de 20MP. Os PCT foram levantados por equipamento GNSS. O trabalho apresentado se trata de um estudo exploratório com abordagem quantitativa e emprega métodos investigativos com dados primários coletados em campo.

2. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT

Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT é o termo brasileiro referente a qualquer veículo aéreo que não possua tripulação embarcada, internacionalmente, são conhecidos como Sistemas de Aviões não Tripulados – UAS; Sistema de Veículos Aéreos não Tripulados – UAVS e popularmente conhecidos como Drones. Observa-se também o uso de outras nomenclaturas como: Veículo Remotamente Pilotado – RPV; Aviões Operados Remotamente – ROA; Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAS ou RPA, nestes casos se designa exclusivamente aos sistemas VANT que possuem piloto, embora não embarcados.

O desenvolvimento da tecnologia VANT está historicamente ligado às exigências de ações militares. O desenvolvimento civil dos VANT pode ser útil na aquisição de dados de sensoriamento para fins de vigilância e monitoramento. A necessidade de sistemas aéreos para aplicações civis está relacionada ao levantamento aéreo e fotogrametria e a tecnologia VANT não era adequado para tal fim, uma vez que até pouco tempo era uma tecnologia muito cara e instável. Os dados adquiridos dificilmente poderiam ser trabalhados com as ferramentas tradicionais de fotogrametria. Foi, aproximadamente, nos últimos dez anos que seu uso civil começou a ser explorado, devido ao barateamento dos equipamentos e ao desenvolvimento da informática tanto pelo avanço de hardware, com processadores e placas de vídeos mais poderosos como pelo desenvolvimento de softwares específicos em fotogrametria para VANT (TRAVERSARI, 2015).

Os VANT correspondem desde equipamentos sem uso de energia como os balões, asa delta e parapente como os que utilizam energia como o dirigível, os propulsores de asas fixas e com asas rotatórias. Diferentemente dos VANT asas fixas, os de asas rotatórias podem ser operados mais próximo ao objeto e possuem maior flexibilidade de manobras, possuem pouso e decolagem vertical, não necessitando de pista para pouso e decolagem como no caso dos equipamentos de asas fixas. De outro lado, os VANT de asas fixas podem sobrevoar por mais tempo que os de asas rotatórias, podem recobrir uma área mais extensa e voar no nível de aeronave dependendo do porte da aeronave (EISENBESS, 2009).

Os VANT de asas rotatórias vão desde um único rotor, duplo rotor (coaxial), quatro rotores e multirrotores. Geralmente os sistemas de rotor único e os coaxiais possuem maiores potências o que permite que carreguem um *payload* mais robusto. *Payload* corresponde à quantidade de sensores montados na plataforma VANT como, por exemplo, o conjunto câmera, Unidade de Medição Inercial - IMU e Sistema de Posicionamento Global – GPS que a plataforma carrega. Sendo que os coaxiais são os mais eficientes em termos de voo e aquisição de imagens, contudo, requerem uma mecânica com maior complexidade do rotor. Os sistemas de quatro rotores possuem menor capacidade de carregamento de *payload*, são equipados com sensores mais leves e de menor custo. Possuem grande flexibilidade de manobras, podendo fazer voos em interiores, contudo, devido ao baixo peso, são fortemente suscetíveis às condições climáticas como o vento e possuem um raio de operação limitado às áreas pequenas. Atualmente, os multirrotores com tamanho e peso similares aos sistemas de quatro rotores, possibilitam o carregamento de um *payload* maior e possuem maior estabilidade (EISENBESS, 2009).

A classificação dos VANT varia de país para país e não existe uma padronização pela Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – ISPRS. Normalmente está associado à capacidade de peso de Payload que suporta carregar. Payload corresponde aos sensores montados na plataforma VANT como, por exemplo, o conjunto câmara, Unidade de Medição Inercial - IMU e Sistema de Posicionamento Global – GPS que a plataforma carrega. Conforme definido por Van Blyenburgh (1999) apud Eisenbess (2009), os Micro e Mini VANT são os que permitem carregar até 5kg de payload, já a classe dos VANT grandes permite um payload acima de 5kg.

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC define a seguinte classificação de acordo com o Peso Máximo de Decolagem (PMD) das RPA conforme apresentado no Quadro 1, nota-se que ANAC se refere às RPA, pois em termos de regulamentação, não há como se regulamentar aqueles sistemas que são completamente autônomos sem a intervenção de pilotos.

Quadro 1: Classificação dos VANT de acordo com o PMD

Classe 1	RPA com PMD maior que 150 kg
Classe 2	RPA com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg
Classe 3	RPA com PMD menor ou igual a 25 kg

Fonte: ANAC (2017)

As maiores vantagens de se utilizar os VANT são em situações de risco, pois sem piloto embarcado não se coloca em risco a vida humana e a possibilidade de se atingir áreas inacessíveis ou de difícil acesso, outra vantagem é a possibilidade de aquisição de dados em condições climáticas nebulosas e chuvosas quando a distância ao objeto permite voar abaixo das nuvens, além da aquisição de dados em tempo real ou quase real para monitoramento (EISENBESS, 2009). A maior limitação do uso de VANT, especialmente os de baixo custo, é o peso e a dimensão do seu *payload*, limitado a câmeras de pequeno e médio porte, portanto, requer um maior número de imagens para a mesma área coberta por uma câmera de maior formato e ainda são limitados quanto à altitude atingida. Além disso, são menos estáveis do que as plataformas das técnicas fotogramétricas convencionais e, devido à limitação do *payload*, são capazes de transportar apenas pequenas unidades de navegação. Esses fatores podem implicar em uma qualidade de imagem reduzida e uma orientação menos precisa dos sensores (EISENBESS, 2009).

3. GEOREFERENCIAMENTO DE IMAGENS AÉREAS

Para o georreferenciamento de alta precisão de dados de mapeamento coletados por VANT em um plano de coordenadas predefinido requer a determinação centimétrica precisa dos seis parâmetros da orientação externa: posição 3D (X, Y, Z) e as atitudes 3D precisas de sub-grau (ϕ , θ , ψ) do VANT em relação à terra (ELING et al, 2015). Existem duas opções de georreferenciamento nos dados do mapeamento VANT: (i) georreferenciamento indireto, utilizando Pontos de Controle Terrestre - PCT, que exige trabalho de campo, consumindo tempo e nem sempre em há possibilidade de acesso à área em questão, neste caso a informação não é em tempo real e necessita de alta sobreposição das imagens; (ii) georreferenciamento direto, requer um sistema multi-sensor a bordo, não sendo facilmente adaptável aos VANT de pequeno porte

(ELING et al, 2015). Já a escala de uma imagem processada está relacionada com o tamanho do pixel, que é chamado de GSD, sigla em inglês referente a *Grond Sample Distance*.

Um PCT é um ponto/objeto que pode ser identificado na imagem e do qual são conhecidas as coordenadas tridimensionais exatas do objeto no solo (x, y, z). Os PCT podem ser: (i) sinalizados no terreno antes das tomadas de fotografias, para os produtos provenientes de aerolevantamento, normalmente a demarcação dos pontos é mediante a construção de alvos com faixas brancas em forma de “x” ou; (ii) feições naturais, objetos existentes no terreno que possam ser identificados na imagem, se possível quinas de retângulos ou pequenos círculos e de preferência na superfície, em função da medição referente à altura, no caso de se verificar a altimetria (LINDER, 2006).

Para se obter as coordenadas de um PCT, atualmente, se utiliza equipamento GPS - *Global Position System* (LINDER, 2006). Para o georreferenciamento em fotogrametria digital convencional considera-se: (i) no caso de um único modelo estereoscópico formado por duas imagens é necessário pelo menos três PCT bem distribuídos, portanto, recomenda-se buscar pelo menos cinco pontos e pelo menos três deles devem formar um triângulo; (ii) no caso de um bloco formado por “n” tiras, uma regra padrão é ter um PCT em cada terceiro modelo, pelo menos, perto das bordas do bloco, e se necessário, pontos adicionais de altura dentro do bloco (LINDER, 2006). Os PCT devem ser dispersos ao longo da imagem com uma boa cobertura perto das bordas. Menciona-se uma recomendação de 16 PCT como um possível número razoável no caso de que cada um esteja localizado com uma precisão de um terço de um pixel (CAMPBELL; WYNNE, 2011).

A acurácia posicional é obtida a partir de pontos de controle posicional, ou seja, pontos de verificação, mediante o cálculo das diferenças entre as coordenadas de feições em uma fonte de maior referência e seus pontos homólogos no produto a ser avaliado, sendo o erro quadrático médio - EMQ a medida padrão, que também é utilizada no Brasil, especificada para o cálculo do Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais planimétrico pela ET-CQDG – Especificações Técnicas - Controle de Qualidade de Dados Geográficos (DSG, 2016). A norma apresenta os procedimentos para a amostragem de pontos de controle posicional que segue os procedimentos definidos pelas normas ISO 2859-1 de 1999 e 2859-2 de 1985. A norma americana de precisão de dados espaciais menciona um mínimo de 20 pontos a serem verificados (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE, 1998).

3.1 Georreferenciamento de imagens VANT

Os primeiros exemplos de produtos VANT usando PCT podem ser vistos em Eisenbess (2009): (i) a execução do mapa arqueológico por imagens tiradas de uma câmera de médio formato montada em um balão BCV D4 em 1983 por Vozikis, constituído por seis fotografias tiradas de uma altura de cerca de 25m formando três modelos estéreo com sobreposição irregular entre as fotografias - as imagens foram orientadas em sistema de plotagem analítica e cinco PCT, o que resultou em um EQM de 1,5 cm planimétrico e 4 cm de altura; (ii) a geração de um modelo 3D de um moinho histórico, foram tiradas 82 fotos do solo e 32 imagens de uma câmera amador de pequeno formato montada em um VANT modelo helicóptero, foi utilizado o número excessivo de 120 PCT para a orientação exterior do modelo que resultou em um EQM de 2 cm planimétrico e em altura. Eisenbess (2009) apresenta seus resultados do processamento fotogramétrico da Corte

leste do patrimônio arqueológico de Copán através de sobrevoo com o uso de VANT helicóptero. A orientação de 22 imagens usando 5 PCT resultou em um valor de precisão de 2 cm planimétrica e 1 cm de altura.

Outros trabalhos mais relacionados com esta pesquisa apresentaram o processo de ortorretificação com o uso PCT. Duarte e Gonçalves (2014) utilizaram o mini VANT asas fixas modelo Swinglet CAM com apenas 500 g de peso e uma câmera de pequeno formato de 12 MP para cobrir uma área de cerca de 0,28 km² com 11 PCT que resultou em um EQM de 19 cm. Com o mesmo equipamento e com 34 PCT, Souza (2015) atingiu um EQM de 12 cm para uma área de 1 Km².

4. METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório de abordagem quantitativa. Busca-se testar a qualidade em termos posicional do mapeamento realizado com dados VANT em uma área urbana de 1,0 km².

4.1. Área de estudo

A área mapeada corresponde ao bairro Comasa na cidade de Joinville, SC. A população estimada em 2015 era de 21.379 habitantes apresentando uma densidade populacional de 7.860 habitantes por quilômetro quadrado (IPPUJ, 2015). A consolidação do bairro se deu a partir da década de 80 e em boa parte, 25% da área do bairro, por ocupação sobre área de mangue. Atualmente o bairro ainda se apresenta em processo de densificação e verticalização, contudo sua expansão sobre o mangue encontra-se delimitada por um canal construído sob tal justificativa. Trata-se de um bairro de superfície plana, portanto, o relevo não influenciou nos testes.

4.2. Levantamento de campo

Conforme já mencionado na introdução, para o levantamento aéreo se utilizou o modelo de VANT Phantom 4 Pro que pesa 1.388 Kg com um sensor CMOS de uma polegada e 20 MP. Os planos de voos foram feitos pelo software livre Dronedeploy. Estabeleceu-se 120 metros de altura de voo para facilitar o levantamento quanto a solicitação autorização de voo, uma vez que a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC não exigem autorização de voo para as classes de VANT pequenas até esta altura do voo. Além do que com uma câmera de pequeno formato a baixa altura é possível se obter um bom tamanho de pixel. A sobreposição das fotos tiradas foi de 80% no alinhamento longitudinal e 60% no alinhamento lateral.

As coordenadas dos PCT para o levantamento aéreo desta área foram levantadas por equipamento GNSS pelo método NTRIP (Networked Transport of Radio Technical Commission for Maritime Services via Internet Protocol) tendo como referência a base de Araquari. Foram levantado 30 pares de PCT com marcação em X feita em tinta branca ou em faixas de PVC quando o terreno não permitia a pintura. A Figura 1 ilustra o Phantom 4 Pro utilizado e o levantamento dos PCT.



(a)



(b)

Figura 1 – Phantom 4 Pro utilizado no levantamento aéreo (a) e levantamento do PCT com equipamento GNSS (b)

4.3. Geoprocessamento das imagens

As imagens foram processadas pelo software comercial PhotoScan. O primeiro procedimento no software é o alinhamento das fotos, gerando uma nuvem esparsa de pontos, depois disso é criada a nuvem densa de pontos para a construção do modelo de elevação digital - DEM, e então, o ortofotomosaico é gerado. Para obter a orientação da imagem foi utilizado os PCT nesta última etapa do processamento da imagem.

Para o geoprocessamento do ortofotomosaico, nos testes referentes ao recobrimento da área de 1km², primeiramente se utilizou 30 PCT referentes a cada um pares levantados, posteriormente se diminuiu para 20, 16 e 12 PCT, selecionados considerando uma boa distribuição e recobrimento das bordas, com a finalidade de checar a influência da quantidade de PCT no geoprocessamento do ortofotomosaico para a acurácia posicional do produto.

4.4. Verificação da acurácia posicional

Para verificar da acurácia posicional dos ortofotomosaicos gerados foram utilizados num primeiro momento 20 pontos de verificação conforme a norma americana (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE, 1998) e num segundo momento os procedimentos estipulados pela ET-CQDG - Especificação Técnica – Controle de Qualidade de Dados Geográficos (DSG, 2016). Conforme esta, calculou-se os EQM utilizando 29 pontos de verificação. Trata-se de um caso de lote isolado de uma área de 01 km² que irá ser avaliado para a maior escala da tabela PEC, ou seja a escala 1:1.000. Neste caso, seguindo os procedimentos de inspeção por amostragem estabelecidos pela ET-CQDG, o lote foi seccionado em quadrículas de 40m x 40m resultando em 625 quadrículas e então aplicado as tabelas da ISO 2859-2, 1985, fornecidas no anexo A da ET-CQDG. Adotou-se o Limite de Qualidade Aceitável – LQA de 4% colocado pela ET-CQDG para ortomagem uma vez que esta não menciona o LQA para o caso específico de carta ortomagem de grande escala e nem carta topográfica em grande escala. Assim em função do tamanho do lote (625 quadrículas) e o LQA de 4% encontrou-se o valor de Qualidade

Limite – QL de 20%, assim o tamanho da amostra e limite de acitação encontrados na tabela foi de 32 e 3 respectivamente, coincidindo com a quantidade de 29 pontos que foram possíveis de reconhecimento no ortofotomosaico levantados juntamente com os PCT para o georreferenciamento e que correspondem ao seu par.

As diferenças entre os pontos nos ortofotomosaicos e suas coordenadas levantada foram estimas utilizando o Sistema de Informações Geográficas - GIS (ArcMap 10.5) através da leitura do vetor de arrastamento entre o ponto no ortofotomosaico gerado e sua real coordenada.

Em testes anteriores realizados pela pesquisa em andamento, para o mapeamento da área total de 2,8 km², houve dificuldade de se manter o sinal entre o controle terrestre e o equipamento aéreo, necessitando maior quantidade de voos e conseqüentemente recarrega das baterias, o que consumiu maior tempo e comprometeu a qualidade de luz adequada ao levantamento da área completa, o que acarretou a necessidade de mais um dia para o levantamento aéreo. O levantamento total da área resultou em 2.014 fotos e o ortofotomosaico foi processado com 03 centímetros de GSD. O EQM resultante do processamento do ortofotomosaico com 47 PCT e 20 PCT foi de 14,45 centímetros e 14,23 centímetros respectivamente. Apesar de se encontrar dentro do padrão de exatidão cartográfica para ortoimagem em grande escala estipulado pela ET-CQDG, os resultados referentes aos erros máximos não atingiram a acurácia posicional satisfatória para o georreferenciamento urbano, pois 50% dos pontos apresentaram erro máximo superior aos 08 centímetros prevista pelo código civil brasileiro e especificados pelo novo decreto de regulamentação territorial para o cadastro de propriedades urbanas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado um voo cobrindo uma parte da área de estudo, equivalente a 1,0 Km². Os resultados estão apresentados a seguir.

5.1. Resultados obtidos para o levantamento referente à área de 1,0 km²

Com relação ao levantamento aéreo da área de 1,0 km², o software *Dronedeploy* planejou três voos para cobrir a área. O voo foi feito aproximadamente entre o período das 10h30min a 12h00min. Na maior parte do tempo o céu se apresentou sem nuvens e uma condição de vento favorável ao voo, variando de 12 m/s a 9 m/s. O levantamento aéreo resultou em 614 fotos que foram processadas resultando em um ortofotomosaico com um GSD de 1,0 centímetro.

O EQM resultante do ortofotomosaico processado com 30, 20, 16 e 12 PCT realizados com 20 pontos de verificação (Norma Americana) e com 29 pontos de verificação (ET-CQDG – ISO 2859-2) variou de 2,3 a 2,6 centímetros respectivamente, dentro da classe A da escala 1:1000 do padrão de exatidão cartográfica para ortoimagem em grande escala estipulado pela ET-CQDG. Os erros máximo dos ponto verificados encontram-se 100% dentro da acurácia posicional para o georreferenciamento de imóveis urbanos proposta pela legislação brasileira de 8,0 centímetros. A figura 2 apresenta os ortofotomosaicos processados com 30, 20, 16 e 12 PCT e os pontos de verificação utilizados para a medição do EQM.

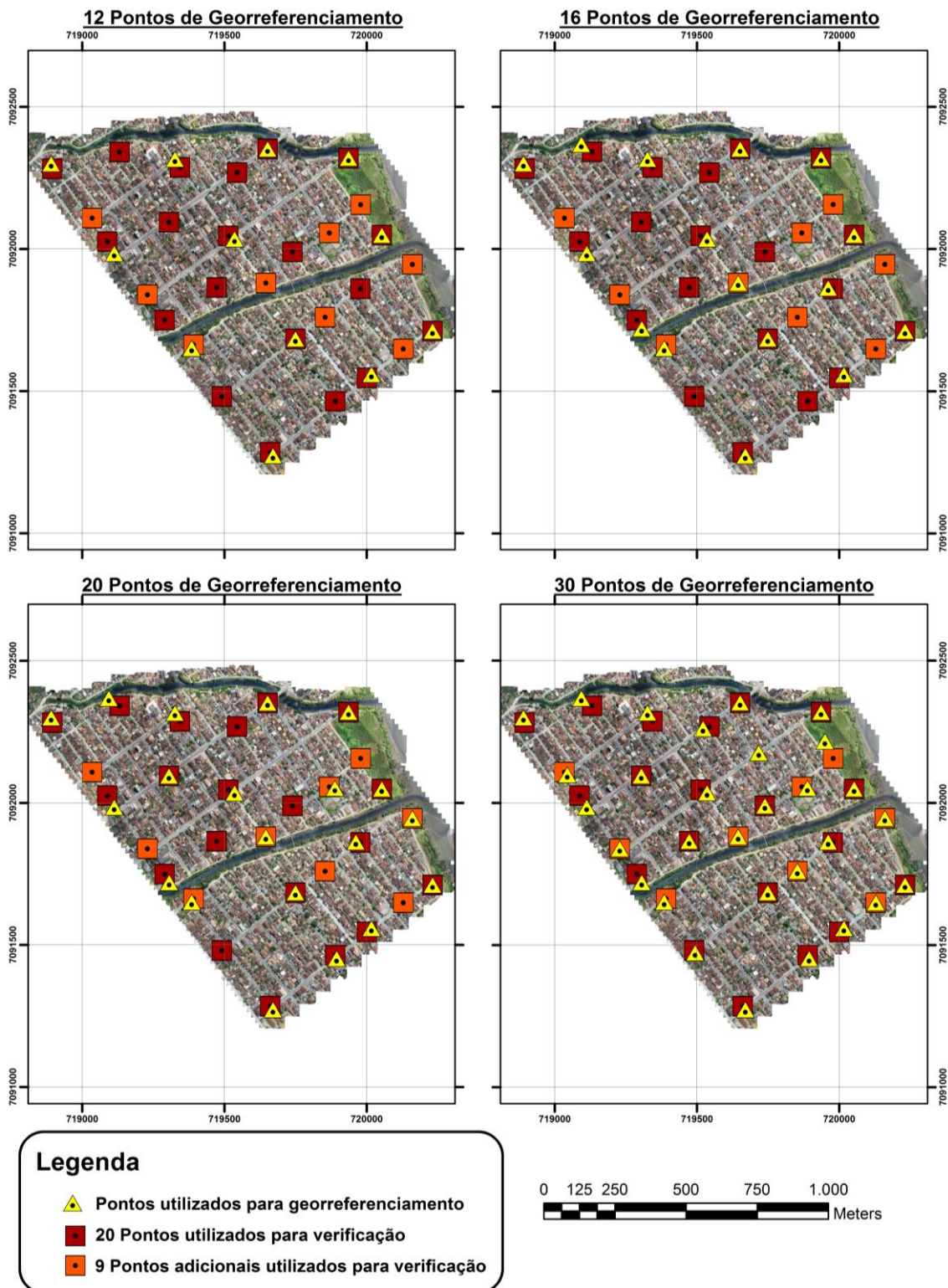


Figura 2: Ortofotomosaicos com os pontos de utilizados para o georreferenciamentos e os pontos utilizados para a verificação.

5.2. Discussão dos resultados

Os resultados da etapa anterior da pesquisa já haviam demonstrado que o mapeamento de uma pequena área referente a 1,0 km² com os dados levantados pelo Phantom 4 Pro é satisfatório. O trabalho de campo compreendendo o levantamento aéreo e o levantamento das coordenadas dos PCT não apresentou qualquer dificuldade em ser realizado em apenas um dia de trabalho. Ademais a quantidade de fotografias aéreas tomadas possibilitou o processamento do ortofotomosaico com 1,0 centímetro de GSD e o EQM dos processamentos com distintas quantidades de PCT atendeu a acurácia necessária para o georreferenciamento de imóveis urbanos.

A tabela 1 apresenta os resultados do EQM dos ortofotomosaicos processados com 30, 20, 16 e 12 GCP calculados conforme a Norma Americana, utilizando 20 pontos de verificação e a conforme a ET-CQDG e ISO 2859-2, utilizando 29 pontos de verificação. Como se pode observar, a variação do número de PCT para o geoprocessamento pouco interferiu na qualidade posicional do ortofotomosaico. Os resultados apresentaram diferença entre si na casa dos milímetros, sendo o processamento do ortofotomosaico com 20 PCT o que apresentou o melhor resultado. A quantidade de número de pontos de verificação para a acurácia posicional também não apresentou diferença representativa, os resultados do EQM apresentaram diferença na casa dos milímetros. Portanto, como o número dos pontos de controle representa custo unitário na sua obtenção e pouco alteram a qualidade geométrica final é preciso se atentar à sua otimização.

Observou-se a necessidade, quando em trabalho de campo, levantar um número superior a quantidade desejada de PCT para o geoprocessamento e pontos de verificação, para o caso de um ou outro ponto não poder ser reconhecido nas imagens ou no caso de obstrução de alguma natureza.

Com relação à qualidade posicional alcançada se cabe considerar a condição climática no instante do levantamento aéreo, a qual se encontrava, conforme mencionado, bastante favorável o que contribuiu para o resultado positivo.

Tabela 1: resultados do EQM dos os ortofotomosaicos geoprocessados com 30, 20, 16 e 12 GCP.

Quantidade de pontos utilizados no geoprocessamento	12 Pts	16 Pts	20 Pts	30 Pts
EQM (Norma Americana – 20 Pts)	0,026	0,025	0,023	0,025
EQM (ET-CQDG - ISO 2859-2 – 29 Pts)	0,025	0,025	0,024	0,024

6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados demonstraram que o mapeamento através do VANT Phantom 4 Pro limitado à uma área de 1,0 km² atende a qualidade posicional para o georreferenciamento das parcelas urbanas para o cadastro exigida pela atual política de regularização fundiária. Os processamentos dos ortofotomosaicos para esta área realizado com 30, 20, 16 e 12 PCT para o seu georreferenciamento não apresentaram diferença representativa no valor do EQM. Tampouco o resultado do EQM teve diferença representativa com relação à quantidade de pontos de verificação utilizada conforme a Norma Americana e a ET-CQDG – ISO 2859-2. Considerando o custo unitário por levantamento de campos das coordenadas dos PCT pode-se concluir que não se

justifica o levantamento excessivo de PCT para o georreferenciamento, considerando-se ainda a necessidade do levantamento de pontos de verificação e a necessidade de um acréscimo na quantidade do levantamento dos pontos por garantia.

Este trabalho se limita ao levantamento de uma área plana e a verificação somente da acurácia planimétrica.

Agradecimentos

Este trabalho contou com recursos financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES no que diz respeito ao levantamento de dados, aquisição do software de processamento e à bolsa de estudos do projeto de pesquisa de um dos autores. Também conta com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ que financia a bolsa de iniciação científica de outro autor.

Referências Bibliográficas

ANAC. **Resolução nº 419, de 02 de maio de 2017**. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - RBAC-E nº

BRASIL. **Código Civil**. Lei n. 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Brasília, 2002b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406compilada.htm> Acesso em 29 set. 2017.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Estatuto da Cidade. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 11 jul. 2001. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10257-10-julho-2001-327901-norma-pl.html>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

BRASIL. **Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018**. Regularização Fundiária Urbana. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 16/03/2018. Available in: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9310-15-marco-2018-786319-publicacaooriginal-155038-pe.html>>. Access in: 2018, march 30.

CAMPBELL, James B.; WYNNE, Randolph H. **Introduction to remote sensing**. Guilford Press, 2011.

CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório; ERBA, Diego Alfonso; AUGUSTO, Eduardo Agostinho Arruda. Cadastro Multifinalitário 3D: conceitos e perspectivas de implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2012. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/cadastrogf/images/pdf/cadastromulti.pdf>>. Acesso em: maio 2016.

COELHO, Luiz; BRITO, Jorge Nunes. **Fotogrametria digital**. EdUERJ, 2007.

CUNHA, Eglaisa Micheline Pontes; ERBA, Diego Alfonso. Manual de Apoio-CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros. Brasília: **Ministério das Cidades**, 2010.

DUARTE, Diogo; GONÇALVES, Gil. Produção automática de ortofotos em áreas urbanas utilizando veículos aéreos não tripulados e software de código aberto. **Atas das Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias da Informação Geográfica**, Coimbra, v. 11, p. 705-722, 2014.

EISENBEIß, Henri. **UAV photogrammetry. 2009**. Tese de Doutorado. ETH Zurich.

ELING, C. et al. Development and evaluation of a UAV based mapping system for remote sensing and surveying applications. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 1, p. 233, 2015.

FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. **Geospatial Positioning Accuracy Standards, part 3: National standard for spatial data accuracy.** Subcommittee for Base Cartographic Data, 25p, 1998.

HABITAT III - United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development, 3ª, 2016, Quito. **Draft outcome document of the United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III).** Quito: United Nations, 2016.

IPPUJ - Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville –Bairro a Bairro 2015.** Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville. 106p, 2015.

LINDER, Wilfried. **Digital photogrammetry: theory and applications.** Springer Science & Business Media, 2013.

LOCH, C.; ERBA, D. A. **Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano.** Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2007.

SILAYO, Eugene H. Searching for an Affordable and Acceptable Cadastral Survey Method. In: Pharaohs to Geoinformatics - **FIG Working Week 2005 and GSDI-8.** Cairo, Egypt April 16-21, 2005

SOUZA, Gabriel de. **Análise da viabilidade do uso de VANT para mapeamentos topográfico e de cobertura e uso da terra.** Trabalho de conclusão de graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Engenharia Cartográfica, 2015.

TRAVERSARI, Emanuele. **Diálogo aberto sobre a tecnologia VANT.** Brasília 22-24 de abril de 2015. (Material ppt curso)