

INFLUÊNCIA DO USO DE PONTOS PRÉ-SINALIZADOS NA QUALIDADE DE ORTOFOTOS GERADAS POR IMAGENS OBTIDAS POR RPAS

The influence of pre-signalized ground control points to support the orthophoto generation from images acquired by RPAS

Ian Ribeiro Lemes

ianlemes@hotmail.com

Amilton Amorim¹

amorim@fct.unesp.br

Mauricio Galo¹

galo@fct.unesp.br

Paulo de Oliveira Camargo¹

paulo@fct.unesp.br

**Universidade Estadual Paulista – UNESP
FCT/ Faculdade de Ciências e Tecnologia**

¹Departamento de Cartografia
Presidente Prudente – SP

Resumo

Este trabalho apresenta os primeiros resultados de um projeto em andamento na FCT/Unesp, cujo objetivo principal é avaliar a qualidade de diferentes produtos cartográficos obtidos a partir de fotografias aéreas tomadas por um RPAS. A área teste foi implantada em uma região de expansão urbana do Município de Presidente Prudente - SP, com várias parcelas cujas destinações são: produção rural, residencial e chácaras de recreio. As fotografias aéreas foram obtidas a partir do RPAS *eBee* (fabricado pela empresa *Sensefly*) sendo as imagens utilizadas na geração de duas ortofotos da mesma área, uma com pontos de apoio pré-sinalizados e outra com pontos de apoio naturais. Ambos os conjuntos de pontos tiveram suas coordenadas determinadas com GNSS. A análise da qualidade geométrica das ortofotos, a partir de pontos de verificação independentes, indica que os produtos possuem qualidades similares. No entanto, nos experimentos realizados observou-se que o desvio padrão planimétrico resultante foi menor, por um fator 0,62, quando são utilizados alvos pré-sinalizados, indicando que o uso desses alvos contribui para a melhoria da qualidade do produto final.

Palavras-chave: RPAS, VANT, Área de Expansão Urbana, Imóveis Rurais, Gestão Territorial.

Abstract

This work presents the first results of an ongoing project at FCT / Unesp, whose main objective is to evaluate the quality of different cartographic products obtained from aerial photographs taken by a RPAS. The test area is located in an urban expansion area of the city of Presidente Prudente - SP, with several rural properties whose destinations are rural production, residential and recreational farms. The aerial images were obtained from one RPAS *eBee* (*produced by Sensefly Company*) and these images were used to generate two orthophotos, one with pre-signalized targets as control points and other with natural ground control points. The coordinates of both sets of points were determined by GNSS and the geometric analyses of both orthophotos were carried out by independent check points. The results indicates that the products has similar quality, and the planimetric standard deviation is less, by a factor 0,62, when pre-signalized target are used as ground control points.

Keywords: RPAS, UAV, Urban Sprawl, Land Management.

1 Introdução

Nos últimos anos, o avanço tecnológico na produção de aeronaves não tripuladas vem fomentando a utilização desses equipamentos como auxiliar na atividade de mapeamento, para diversas finalidades, em regiões de pequeno porte. O uso descontrolado dessa tecnologia vem causando certo incômodo à comunidade científica, uma vez que os equipamentos e os softwares, para coleta e processamento das imagens, estão se tornando cada vez mais práticos e automáticos, possibilitando sua utilização por usuários sem conhecimentos fundamentais de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Muitas vezes os usuários não qualificados desconhecem aspectos fundamentais e básicos relacionados a referenciais, projeções, estabelecimento da correspondência, controle de qualidade e diversos outros ligados à produção cartográfica.

Quando os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) surgiram, eram apenas aeronaves controladas a partir de uma base terrestre, para fins militares e, com o avanço da tecnologia e estações de controle terrestre, o uso civil começou a ser explorado (MAROTTA et al. 2015). O acrônimo VANT pode ser utilizado para denominar qualquer veículo aéreo não tripulado, inclusive os aeromodelos mais simples que não possuem sofisticadas estações de controle terrestre. No entanto, o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) trata de equipamentos que executam voos totalmente controlados por uma estação terrestre, permitindo alterações no plano inicial durante o voo.

Há que se ressaltar que, em todo o mundo, legislações específicas que tratam do uso destes equipamentos no espaço aéreo urbano e na proximidade de aeródromos, principalmente, estão sendo elaboradas, com especial atenção ao aspecto de segurança. Segundo Amorim et al. (2016), no Brasil, assim como em muitos países, o acesso ao espaço aéreo não é permitido aos RPAS por meio de voo totalmente autônomo (que não permite a intervenção do piloto remoto). Sendo assim, a legislação brasileira trata do acesso seguro ao espaço aéreo por Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, conhecidas mundialmente como *Remotely Piloted Aircraft System* – RPAS, sendo este o equipamento utilizado na aquisição das imagens utilizadas neste trabalho.

Segundo Marotta et al. (2015), câmaras de pequeno formato começaram a ser acopladas aos modelos diferentes de aeronaves remotamente pilotadas, assim como outros sensores como acelerômetros, giroscópios, sistema de navegação por GNSS, tubo de *Pitot*, entre outros acessórios.

Muitas empresas investiram na fabricação desses veículos aéreos não tripulados e atualmente, no mercado nacional e internacional, existem inúmeros fabricantes desses equipamentos, para diversas finalidades. Geralmente, os fabricantes divulgam resultados de trabalhos que podem ser realizados com esses equipamentos, demonstrando uma viável relação entre custos e benefícios, permitindo a produção de documentos cartográficos que atendem determinados padrões de precisão e acurácia. No entanto, a falta de conhecimento básico das ciências fundamentais, envolvidas com o processo de mapeamento, pode prejudicar a qualidade dos produtos resultantes gerados por esta plataforma, podendo não atender à qualidade desejada pelos contratantes.

Este trabalho procura mostrar que, a partir da utilização adequada de um RPAS como plataforma de aquisição de imagens e alguns cuidados durante o processamento dos dados, podem ser gerados produtos cartográficos com boa qualidade geométrica, principalmente em mapeamentos em escalas grandes, de pequenas áreas.

Dessa forma, essa tecnologia se torna uma ferramenta útil, por exemplo, para prefeituras municipais que necessitam realizar o monitoramento de áreas de expansão urbana que, de

acordo com Amorim et al. (2010), é um espaço geralmente problemático para a gestão territorial, dada a sua complexidade, principalmente pelo formato irregular e tamanho das parcelas.

Porém, para que essa utilização seja possível, seria necessário que esses produtos cartográficos, no caso do georreferenciamento de imóveis rurais, por exemplo, atinjam a acurácia estabelecida pelas Normas Técnicas para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR) estabelecidas pelo INCRA (BRASIL, 2013), e no caso de mapeamento o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais - PEC-PCD (DSG, 2011).

Neste trabalho, foi realizada a análise da qualidade geométrica de uma ortofoto, produzida por fotografias aéreas obtidas a partir de um RPAS, de uma área de expansão urbana do município de Presidente Prudente, localizado no Oeste do Estado de São Paulo. No experimento foi utilizado um RPAS *eBee*, fabricado pela *SenseFly*, e as imagens tomadas com um GSD (*Ground Sample Distance*) de 5 cm, utilizando dois conjuntos de pontos de controle: um pré-sinalizado e outro não sinalizados (pontos de controle naturais). Com as imagens obtidas por esta plataforma, foram realizados dois processamentos, utilizando os diferentes pontos de controle, sendo geradas ortofotos que foram avaliadas em termos geométricos, utilizando um conjunto de pontos de verificação independentes.

2 Fundamentação teórico-metodológica

2.1 Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada

Os termos Drone, VANT, RPAS ou ainda UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) e outros, são comumente utilizados para denominar uma aeronave não tripulada. No entanto, para a maioria dos equipamentos utilizados, profissionalmente, para mapeamentos com alta qualidade utiliza-se um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (*RPAS - Remotely-Piloted Aircraft System*) (AMORIM et al., 2016b).

De acordo com Amorim et al. (2016), apesar das diversas nomenclaturas, as finalidades são praticamente as mesmas, tanto em termos de uso recreativo quanto não recreativo, ou seja, desde o lazer até ao apoio a obras de Engenharia, passando por atividades de inspeção, dentre outras. Claro que, para cada objetivo, alguma especificidade no equipamento pode ser necessária, podendo ele estar equipado apenas com uma câmara e receptor de rádio para o controle manual para ocasiões de lazer ou até possuir acessórios militares, acelerômetro, câmaras de alta resolução, enfim, diversos equipamentos que podem ser acoplados a um RPAS. Devido à diversidade de acessórios que podem ser incorporados e às alternativas de mercado tem-se uma grande variação no peso, tamanho e preço desses equipamentos.

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), que é o órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), publicou recentemente a Instrução do Comando da Aeronáutica ICA-100-40-DECEA, que regulamenta as responsabilidades e os procedimentos necessários para a utilização do espaço aéreo, através de qualquer aeronave controlada remotamente. Esta instrução também estabelece três categorias de RPAS, sendo elas aeronaves com até 2 kg, entre 2 kg e 25 kg e aeronaves pesando mais que 25 kg. Através dessa divisão em classes foram estabelecidas as normas que disciplinam o ingresso seguro dessas aeronaves no espaço aéreo controlado brasileiro (BRASIL, 2015).

O RPAS utilizado neste trabalho foi *eBee* (Figura 1), que possui asa fixa e peso total em voo de 0,630 kg .



Figura 1 - RPAS *eBee*
Fonte: Arquivo Pessoal.

Este equipamento se enquadra na Classe 1, conforme os critérios exigidos pela ICA-100-40-DECEA para este tipo de aeronave. Além disso, este equipamento oferece importantes dispositivos de segurança, como o controle por rádio com alcance limitado de até 3 km, que permite ao operador realizar qualquer intervenção necessária durante a execução do voo.

Este equipamento é todo revestido com polipropileno expandido de alta densidade, característica essa importante para a prevenção de acidentes, uma vez que este tipo de material é capaz de absorver o impacto, reduzindo consideravelmente eventuais danos que podem ser causados em caso de queda. Além disso, possui sistema inercial, sistema de navegação baseado em GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e tubo de *Pitot* para controle de velocidade.

A importância da possibilidade de controle, por meio da estação terrestre, não reside apenas no fator segurança, mas também por se estar sujeito às alterações de tempo, como mudança de direção e velocidade do vento que influencia na decolagem, navegação e no pouso, além da ocorrência de fatos imprevisíveis como a aproximação de outras aeronaves e pássaros, que podem causar impacto. Nesses casos, podem ser feitas alterações no plano de voo inicial, em pleno voo, ou até mesmo executar um pouso de emergência.

2.2 Posicionamento por satélite

Uma das tecnologias mais avançadas e utilizadas atualmente na área de posicionamento é o GNSS, que vem sendo impulsionada e melhorada cada vez mais. O rastreamento, por meio de GNSS inclui diversos métodos, cada um com suas especificidades e acurácia. Neste trabalho, utilizou-se na determinação das coordenadas dos pontos de apoio e pontos de verificação o método de posicionamento relativo estático que, segundo Monico (2008), utilizam-se dois receptores, onde um é mantido fixo coletando dados durante todo o tempo de coleta, enquanto o outro receptor (*rover*) percorre os pontos de interesse e ocupando-os por um tempo de pelo menos 20 minutos. Neste trabalho, o tempo de rastreamento foi de 30 minutos,

com o objetivo de resolver a ambiguidade dos vetores das linhas de bases e proporcionar melhores resultados.

2.3 Precisão posicional

De acordo com as normas técnicas de posicionamento geodésico para o georreferenciamento de imóveis rurais, estabelecidas pelo INCRA em Brasil (2013), o método e a precisão posicional definirão a aplicação, de acordo com o tipo de limite dos imóveis rurais. Neste trabalho utilizou-se a precisão posicional absoluta, considerando que uma das aplicações desse tipo de levantamento pode ser o georreferenciamento de imóveis rurais. Segundo NTGIR (BRASIL, 2013, p. 2), assumindo que σ_x e σ_y sejam as precisões em cada uma das componentes horizontais, a precisão posicional absoluta (σ_p) refere-se à precisão planimétrica (horizontal), dada por:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (1)$$

3 Área de estudo

A área de estudo, utilizada neste trabalho, localiza-se no município de Presidente Prudente – SP, na qual foi implantado um conjunto de pontos de apoio e de verificação pelo Grupo de Pesquisa em Aquisição e Representação de Dados Espaciais – GARDE, sediado na FCT/UNESP de Presidente Prudente, onde são executados diversos estudos e experimentos com RPAS.

Esta área teste localiza-se em uma região de expansão urbana do município, com vários imóveis rurais pequenos, proporcionando as condições ideais para o desenvolvimento deste trabalho (Figura 2).



Figura 2 - Área de estudo.
Fonte: Arquivo pessoal.

4 Procedimentos metodológicos

Inicialmente, foi elaborado um plano de voo com todas as especificações necessárias, como *Ground Sample Distance* (GSD) de 5 cm, sobreposições longitudinal e lateral de 75% e

75%, respectivamente, dentre outros elementos. Para este planejamento foi utilizado o software eMotion 2.0, cuja interface é mostrada na Figura 3.

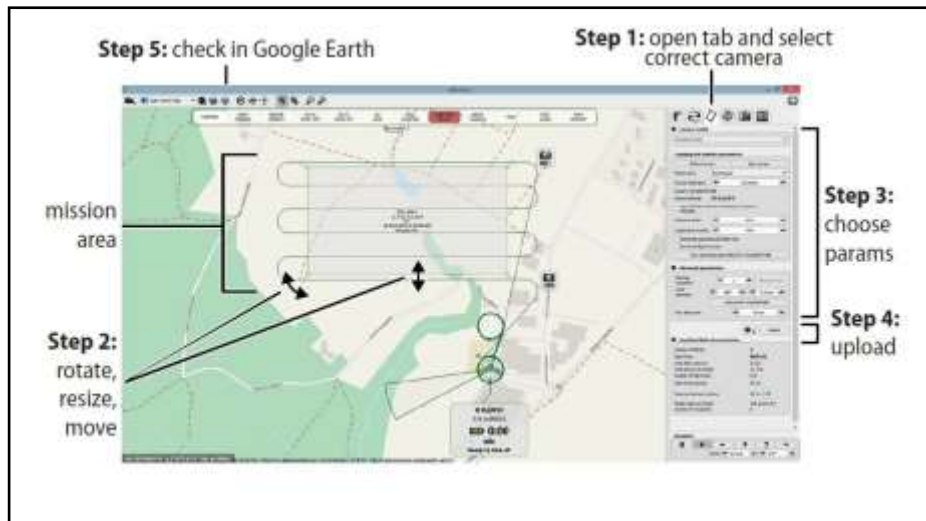


Figura 3 – Interface do software usado na elaboração do plano de voo.
Fonte: Manual do eMotion2.

Antes da execução do voo foi feito o planejamento dos alvos pré-sinalizados, sendo definida tanto a forma quanto a dimensão dos mesmos. São várias as formas comumente utilizadas para alvos pré-sinalizados, como se pode ver em Henriksen (1980). Optou-se por considerar o alvo pré-sinalizado na forma de “L”, com cada um dos lados tendo a extensão de 100 cm e a largura de 10 cm, ou seja, largura de 2 (duas) vezes o GSD adotado.

Por meio do mesmo software utilizado no planejamento (eMotion2), foi executado o controle e o acompanhamento do voo, observando os dados do voo em execução, tais como altura, altitude, localização e velocidade da aeronave, tempo transcorrido de voo, velocidade e direção do vento, etc, que são mostradas na tela do notebook utilizado como estação de controle do voo.

A Figura 4 mostra as linhas de voo, bem como todos os locais (pontos vermelhos) onde foram tomadas as fotografias aéreas. Nesta figura também são mostrados, em azul, os pontos de apoio pré-sinalizados.



Figura 4 – Plano de voo executado.
Fonte: Arquivo pessoal.

A partir das imagens coletadas no voo foram realizados dois processamentos. No primeiro foram utilizados pontos com marcos materializados no terreno, pré-sinalizados, num total de nove pontos de apoio; e no segundo processamento utilizando pontos naturais como limites dos imóveis (cercas), mourão ou interseção de cercas, num total de nove pontos. Em ambos os conjuntos de pontos as coordenadas foram determinadas por meio de posicionamento GNSS, como descrito na Seção 2.2.

O processamento das imagens, visando à geração das ortofotos, foi feito pelo software *Postflight Terra 3D (Pix4D)*, e os pontos de apoio foram injuncionados de acordo com o desvio-padrão estimado pelo posicionamento GNSS, e como resultado foram obtidas duas ortofotos, uma com os pontos pré-sinalizados e outra com os pontos naturais.

Para a análise da qualidade geométrica dos produtos foram utilizados 13 (treze) pontos de verificação bem identificados em ambas ortofotos. A referida análise foi baseada nas discrepâncias (Δ) entre as coordenadas de referência dos pontos de verificação, obtidas por GNSS, com as coordenadas de seus homólogos nas ortofotos, obtidas com o auxílio do software QGIS, e assim calculada a precisão posicional absoluta de cada ponto.

5 Resultados e análises

Uma vez disponíveis as imagens e as coordenadas, de todos os pontos de apoio, foram geradas as ortofotos e medidos os pontos de verificação. Na Figura 5 podem ser vistos, por exemplo, dois dos pontos medidos e utilizados como pontos de apoio, sendo um deles um alvo pré-sinalizado (a) e outro natural (b).

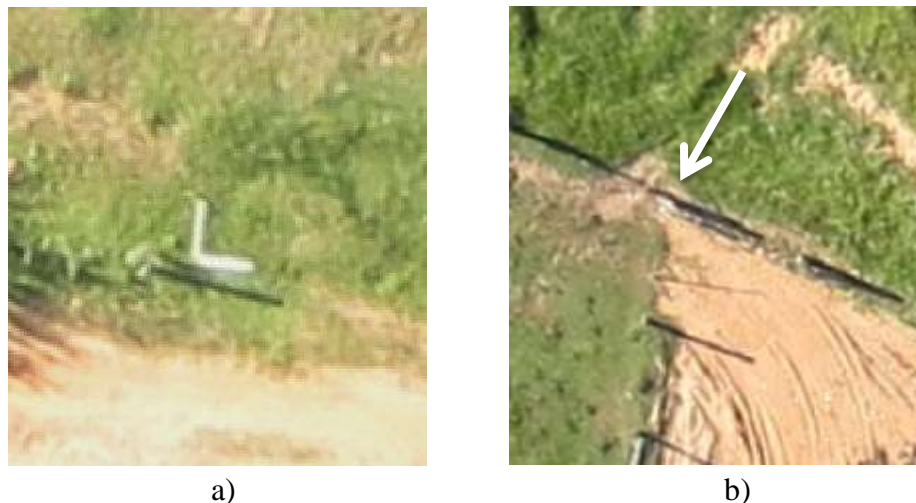


Figura 5 – Em (a) pode ser visto um alvo pré-sinalizado na ortofoto e em (b) um dos alvos naturais medidos.

Depois de geradas as ortofotos e medidas as coordenadas dos pontos de verificação em ambas, foram determinadas as discrepâncias em cada componente, como pode ser observado na Tabela 1, que mostra as discrepâncias calculadas entre as coordenadas dos pontos de verificação e seus homólogos nas ortofotos gerada com e sem pré-sinalização.

Tabela 1 - Discrepâncias nas componentes E e N das ortofotos.

Ponto	Com pré-sinalização		Sem pré-sinalização	
	Δ_E (m)	Δ_N (m)	Δ_E (m)	Δ_N (m)
M01	0,050	0,020	0,033	-0,033
M02	-0,015	-0,047	0,103	-0,088
M03	-0,068	0,022	-0,095	-0,093
M06	0,021	-0,018	0,069	0,002
M08	0,069	-0,100	0,073	-0,116
M10	0,060	-0,007	-0,061	-0,105
M13	0,060	-0,078	-0,025	-0,002
M15	0,101	0,031	0,036	0,018
M17	0,018	-0,062	-0,085	-0,153
M19	0,001	-0,034	0,130	-0,081
M20	-0,025	0,009	-0,105	-0,006
M22	-0,004	-0,090	-0,052	0,033
M26	0,015	-0,029	-0,038	-0,024
Média	0,022	-0,029	-0,001	-0,050
DP*	0,046	0,044	0,079	0,059

* DP - Desvio Padrão

Pode-se verificar que, a partir das discrepâncias, não é possível afirmar que houve uma melhora significativa nos resultados ao se utilizar os pontos pré-sinalizados, embora os desvios-padrão sejam um pouco menores quando são utilizados esses pontos.

A Tabela 2 apresenta a discrepância posicional planimétrica a partir das medidas feitas nas duas ortofotos.

Tabela 2 – Precisão horizontal planimétrica das ortofotos geradas em cada um dos casos (com e sem pré-sinalização).

Pontos	Com pré-sinalização	Sem pré-sinalização
	σ_p (m)	σ_p (m)
M01	0,054	0,047
M02	0,049	0,136
M03	0,072	0,133
M06	0,028	0,069
M08	0,122	0,137
M10	0,060	0,121
M13	0,098	0,025
M15	0,106	0,040
M17	0,065	0,175
M19	0,034	0,153
M20	0,027	0,105
M22	0,090	0,062
M26	0,033	0,045
Média	0,064 ($\approx 1,28$ GSD)	0,096 ($\approx 1,92$ GSD)
DP	0,031 ($\approx 0,62$ GSD)	0,050 ($\approx 1,00$ GSD)

Com base nos resultados deste experimento pode-se notar que a precisão posicional para a ortofoto gerada com pontos de apoio pré-sinalizados ficou na ordem de 6,4 cm e, para a ortofoto gerada sem pontos de apoio pré-sinalizados, na ordem de 9,6 cm, o que equivale a 1,28 GSD e 1,92 GSD, respectivamente. O principal fato que pode explicar esta melhora significativa é a melhoria das condições de pontaria, proporcionada pela utilização da pré-sinalização dos marcos utilizados como pontos de apoio, uma vez que o erro de pontaria acaba influenciando nos resultados da aerotriangulação.

6 Conclusão

Com base nos experimentos pode-se concluir que, embora a qualidade do produto gerado seja melhor para o caso em que são usados pontos de apoio pré-sinalizados, a diferença entre os produtos gerados, em termos de valor absoluto, não é tão significativa, podendo apontar, em uma primeira análise, para a não necessidade de se executar a pré-sinalização. Isso ocorre uma vez que os pontos naturais escolhidos foram pontos notáveis e bem identificáveis, como mourões de cercas, interseção de cercas e outras feições visíveis e de fácil identificação na etapa de medição.

Destaca-se que, ao pré-sinalizar os pontos de apoio, minimizam-se os erros de localização (pontaria) na medição dos mesmos e, como mencionado, acrescentam uma melhora na precisão posicional das ortofotos geradas. Isso fica evidente ao analisar os desvios padrão resultantes em planimetria (Tabela 2), pois ao utilizar os pontos de apoio pré-sinalizados observou-se uma redução no desvio padrão por um fator 0,62, quando comparado com o produto em que não foi utilizado apoio pré-sinalizado.

Pelos resultados apresentados, acredita-se que os produtos cartográficos, que podem ser elaborados a partir de fotografias aéreas obtidas por RPAS, devam ser constantemente avaliados com rigor, uma vez que o uso destas plataformas podem se tornar muito atrativas para as Prefeituras de pequeno porte.

Com a disseminação do uso dessas plataformas de aquisição e as alternativas de processamento automáticas, alguns cuidados devem ser tomados: (1) Com o exercício ilegal da profissão por meio de profissionais não habilitados para tal atividade; e (2) Com a qualidade geométrica dos produtos cartográficos gerados, uma vez que alguns softwares existentes no mercado permitem que o processamento fotogramétrico seja executado até mesmo sem a utilização de pontos de apoio, podendo gerar produtos que não atendam às especificações da legislação brasileira em vigor, implicando em prejuízos ao contratante.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro ao Projeto de Pesquisa (Processo 2014/01841-1) e ao CNPq e Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Estadual Paulista – UNESP, pela concessão de bolsa por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC.

Referências Bibliográficas

AMORIM, A.; PESSOA, G. G.; LEMES, I. R.; KOMAZAKI, J. M.; JORGE, L. C.; GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização de VANT para o georreferenciamento de imóveis rurais.

In: J. A. Tenedório; R. Estanqueiro; R. P. Julião. (Org.). **Actas do I Seminário Internacional UAV**. 1ed. Lisboa: CICS.NOVA.FCSH, 2016, v. , p. 25-36

AMORIM, A.; LEMES, I. R.; JORGE, L. C. Monitoramento de erosão a partir de produtos fotogramétricos gerados por VANT. **International Conference on Urban Risks**. Lisboa. 2016b.

AMORIM, A.; CAMARGO, P. de O.; MIYASHITA, P. M. Avaliação do potencial das imagens quickbird ortorretificadas para o mapeamento das propriedades localizadas na área de expansão e vazios urbanos. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 16, nº3, p.456-474. 2010.

BRASIL. **Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA. 3ª edição. Brasília – DF. 2013.

BRASIL. **ICA 100-40 – DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro**. Portaria 415, de 09 de Novembro de 2015.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**, 2ª ed. 2011. Brasília/DF.

HENRIKSEN, S. W.; SCHROEDER, S. H.; BREWER, R. K. Field Surveys for Photogrammetry. SLAMA, C. C. (ed.). **Manual of Photogrammetry**, fourth edition, American Society of Photogrammetry, Virginia, Cap. VIII, pp. 413-452, 1980.

MAROTTA, G. S.; FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; ABREU, M. A. Avaliação posicional de modelo digital de superfície derivado de câmara de pequeno formato. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 67/7: p.1467-1477. 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP. 476p. 2018.