
QUALIDADE DE ORTOMOSAICOS DE IMAGENS DE VANT PROCESSADOS COM OS SOFTWARES APS, PIX4D E PHOTOSCAN

DANIEL CARNEIRO DA SILVA¹
GERARD WILLEM ANTHONY TOONSTRA²
HENRIQUE LACET SILVA SOUZA³
TÚLLIO ÁULLUS JÓ PEREIRA⁴

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
danielcs@ufpe.br¹, henrique.lacet@hotmail.com³, aulluspereira@gmail.com⁴
Cridea Programas do computador EIRELI – ME
gtoonstra@gmail.com²

RESUMO – Durante os últimos anos o desenvolvimento da tecnologia possibilitou uma enorme facilidade na obtenção e manipulação de informações geográficas a partir do uso Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT, especificamente os de menores porte e custo, e os softwares desenvolvidos para processamento dos dados provenientes dessas tecnologias. Este artigo analisa resultados de um levantamento com VANT experimental tipo hexacóptero processado com os softwares Photoscan, o Pix4D e o APS com o objetivo principal de teste de qualidade quanto à precisão planimétrica. A metodologia aplicada para a coleta dos dados e processamentos é detalhada e os resultados são discutidos. São mostrados os ortomosaicos obtidos com os três softwares e pontos de apoio e checagem foram medidos com GNSS para permitir estatísticas das discrepâncias com EMQ (Erro Médio Quadrático).

ABSTRACT - In the last few years, the development of technology made the obtaining and handling of geographical data increasingly easy, through the use of Unmanned Aerial Vehicles - UAV, specifically the smaller and cheaper models, and the softwares developed for the processing of the data generated by these technologies. This article analyses the results of a survey with an experimental UAV, type hexacopter, process with the softwares Photoscan, Pix4D and APS, with the main goal of testing its planimetric accuracy. The methodology used for the data collection and processing is detailed and the results are discussed. The ortomosaics obtained by the three softwares are showed and the support and checking points were measured with GNSS to allow the measurement of the discrepancies with RMSE (Root-Mean-Square Deviation).

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há uma grande facilidade para a aquisição ou montagem de um Veículo Aéreo Não Transportado – VANT, para fins de aerofotogrametria, a partir de vários modelos prontos, de peças e componentes disponíveis no mercado. Apesar da alta tecnologia um sistema completo tem um custo significativamente muito baixo, quando comparado com um sistema aerofotogramétrico convencional. Devido a essa acessibilidade ao público, a sua aplicação pelos profissionais que trabalham com as geotecnologias, no mapeamento de pequenas áreas com poucos hectares, monitoramento de obras de engenharia, estudos ambientais, cálculos de volumes em mineração, etc, tem crescido muito a cada ano. As dificuldades principais no momento são toda uma série de restrições legais, que ainda está em discussão no Brasil; e a qualidade dessas informações em termos de precisão planimétrica e altimétrica, dos produtos de mapeamento obtidos.

A fotogrametria por VANT refere-se ao uso de uma plataforma aérea de levantamento fotogramétrica que pode ser operada remotamente, de forma semiautônoma ou totalmente autônoma. Essa plataforma é equipada com um sistema de câmera fotográfica digital comum ou infravermelho, um sistema GNSS para fornecer a posição do centro de cada fotografia, um IMU (Inertial Measurement Unit) composto de giroscópios, acelerômetros, altímetros e bússola, que permite a determinação da orientação exterior aproximada para cada imagem tomada durante o voo, link de rádio e uma pequena CPU que controla tudo. O controle humano é feito por um sistema remoto com o link de rádio.

A plataforma em si varia segundo diversas classificações como aplicação, peso, dimensões, número de motores, etc. Em geral a mais comum separa em aeronaves de asa fixa ou rotatória. Os de asa fixa tem maior autonomia de voo, por consumirem menos energia que os de asa rotatória, e podem então voar áreas maiores. Os de asa fixa tem menor velocidade e podem obter melhores fotografias sem arrastamento. As discussões sobre a regulamentação abordam principalmente os sérios riscos de queda das plataformas e os projetistas tem desenvolvido veículos leves, com peso inferior a 1kg, combinado com a sua fuselagem flexível de espuma ou isopor. Essas características faz com o que se torne mais seguro para terceiros em relação à baixa energia de impacto em uma eventual queda (Eisenbeiss, 2008). Esses veículos leves tem sido o foco de interesse do mercado brasileiro para mapeamento por aerofotogrametria.

Além dos equipamentos são necessários vários softwares para o planejamento da missão, para controle durante o voo e para o processamento fotogramétrico. Os softwares de planejamento de voo fotogramétrico são similares aos da fotogrametria convencional: conhecida a distância focal da câmera, a escala ou GSD (Ground Sample Distance), definidas as sobreposições (maiores que na fotogrametria convencional: 70-80% longitudinal e lateral) e as coordenadas dos cantos da área, o software lança em mapa do Google as linhas de voo e estima o tempo necessário.

Os softwares de controle durante voo monitoram o funcionamento da câmara, velocidade, a quantidade de energia (bateria ou combustível) e as regras de segurança para fazer o veículo retornar para o ponto de partida se algo acontecer fora do previsto. Os dados do voo em seguida são introduzidos em softwares de pré-processamento que fazem a ligação entre os instantes de tomada das imagens, GNSS e IMU, gerando o chamado arquivo de *log GPS*, fundamental para a etapa de processamento fotogramétrico.

Os softwares de processamento fotogramétrico desenvolvidos para imagens de VANT tem um alto grau de automatização, maior que na fotogrametria convencional, com a utilização de softwares vindos de visão computacional capazes de processar uma grande quantidade de imagens embora tenham limitação quanto ao tamanho da imagem. São ainda mais rápido e mais fácil de usar, para a geração de produtos tipo *raster*, com um controle menor sobre algumas etapas de processamento e na precisão dos parâmetros geométricos. A característica comum entre eles é que necessitam de entrada apenas dos dados de calibração da câmara, do arquivo de log (coordenadas do centro de cada imagem e inclinações, ω , ϕ , κ , ou Yaw, Pitch, Roll) e das imagens. Caso a câmara não tenha sido calibrada previamente também é possível efetuar a calibração com uma certa seleção das imagens do próprio voo. Todo o processamento, desde a orientação interna, correspondências automáticas entre todas as imagens que tenham alguma sobreposição, ajustamento simultâneo de feixes em bloco, e geração dos produtos, como MDS, MDT e ortomosaico, são realizados automaticamente. A intervenções do operador é apenas para definir alguns parâmetros como método de processamento das correspondências, densidade de pontos do MDT, tamanho do GSD, intervalo de curvas de nível ou tamanho dos recortes do orto mosaico. Existe ainda a possibilidade de ser gerado um arquivo da fototriangulação que pode ser exportado em formato compatível com os principais softwares de fotogrametria convencional (Photoscan, 2014), o que permite operações de restituição.

O processamento fotogramétrico automático pode ser concluído apenas com as posições dadas pelo sistema GNSS, mas para se obter melhor precisão é conveniente o uso de pontos de apoio e pontos de checagem para o controle de qualidade. Como as imagens obtidas de VANT tem GSD de poucos centímetros, para manter a precisão nessa ordem os pontos de apoio devem ser medidos com procedimentos adequados. Podem ocorrer dificuldades durante o georreferenciamento das imagens e na fase de formação de bloco, especialmente quando as posições das imagens e as inclinações são adversas ou em áreas de textura uniforme como superfícies de água e vegetação, quando os métodos de correlação automática falham. Recomendações sobre as condições favoráveis e desfavoráveis das imagens para o processamento automático podem ser vistas em PIX4D (2013b).

As questões de custos, produtividade, eficiência, disponibilidade e normas legais devem ser avaliadas entre os sistemas fotogramétricos convencionais e com VANT, por apresentarem vantagens e desvantagens, conforme a finalidade do levantamento (Remondino et al . 2012).

Este artigo discute e analisa a qualidade de ortomosaicos, em precisão planimétrica e resultados de ortoretificação de edificações, de um conjunto de fotografias tomadas de um hexacóptero em área do campus da UFPE, em Recife-PE, processadas nos softwares APS, Pix4D e Photoscan. Para realizar a avaliação posicional foram coletados pontos fotoidentificáveis por levantamento GNSS, sendo uma parte usado como apoio e outra como pontos de checagem. Finalmente com base nos resultados da precisão e do GSD (Ground Sample Distance) ou Tamanho do Pixel no Terreno foi possível classificar a ortofoto segundo os padrões da ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) (ASPRS, 2014).

2 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste artigo foi utilizado para a aquisição das imagens um VANT experimental, tipo hexacóptero com câmera digital e para processamento das imagens e geração de produtos de mapeamento três softwares e para apoio e controle medições de pontos com GNSS, conforme os detalhes a seguir. A área do levantamento situa-se no campus da UFPE, em Recife, e por questões de segurança foi realizado em dia de domingo, sem alunos ou transeuntes.

2.1 Equipamentos

2.1.1 VANT e Câmera

O VANT experimental utilizado é do tipo hexacóptero, projetado e montado por um dos autores Gerard Toonstra (Figura 1), com modelo baseado em componentes do fabricante Mikrokopter e com piloto automático da Ardupilot Mega.



Figura 1 – Modelo do VANT utilizado.

A câmera utilizada foi um modelo compacto Canon IXUS SX 230 HS, resolução de 12,1Mp (4000X3000 pixels). Este modelo tem baixo peso, 215g, e as câmeras da Canon podem ter funcionalidades alteradas pelo software CHDK (*Canon Hacher's Development Kit*) que facilitam a integração com outros dispositivos (Teixeira Junior e Silva, 2011). O processo de calibração para determinar os parâmetros foi realizado em serviço (*on job calibration*) em cada um dos softwares usados neste trabalho e apresentaram resultados bem semelhantes mas não foram analisados de forma rigorosa. Os parâmetros obtidos com o Pix4D estão na Tabela2.

Nome	Canon Ixus 230 HS
Distancia focal	5,098124mm
Tamanho do pixel	0,001549mm
Largura da imagem	6,197600mm
Altura da imagem	4,648200mm

2.1.2 Softwares para imagens de VANT

As imagens foram processadas nos softwares Pix4D, Photoscan e APS, todos desenvolvidos especificamente para conjuntos de imagens e dados de levantamentos aéreos de veículos não tripulados.

O Pix4Dmapper é um aplicativo da Pix4D que pode ser adquirida uma licença de uso particular ou por contrato de serviço online. O software Pix4D calcula as posições e orientações das imagens originais de forma automática através da Triangulação Aérea (AAT) e Ajustamento de feixes em Bloco (Bundle Block Adjustment, BBA). Com base em nuvem de pontos 3D obtidos durante a AAT e BBA, é gerado um MDS por ligação destes pontos. O ortomosaico é criado a partir da projeção e combinação das imagens originais com o MDS (PIX4D, 2013a).

O Photoscan é da empresa Agisoft. A lista de funcionalidades inclui fototriangulação aérea e terrestre com exportação dos dados para outros softwares fotogramétricos, geração de nuvens de pontos e modelos poligonais triangulares 3D, MDT e MDS, ortofoto verdadeira, processamento de imagens multi espectral, As sobreposições devem ser de 80 e 60% para longitudinal e lateral, respectivamente (PHOTOSCAN, 2014).

O APS (*Aerial Photo Survey*) é um aplicativo da Menci Software. Também constrói automaticamente MDT e MDS, nuvens de pontos, curvas de nível e ortomosaico (APS, 2012). Apresenta ainda extensão com funções de edição vetorial estereoscópica e editor de MDT. As imagens devem ser adquiridas com uma sobreposição padrão de 70-80% (lateral e longitudinal).

2.2 Aquisição dos dados e processamentos

O vôo foi planejado para cobrir uma área de 2,4 ha, a uma altitude de 50m, e com GSD médio de 1,4 cm. A área escolhida apresenta características consideradas de difícil processamento automático, com áreas uniformes de grama, telhados planos, e de objetos altos (8 a 12m) em relação à altura do voo de 45m, como árvores e topo de prédios.

Após a voo as imagens foram processadas no modo automático pelos três softwares usando cinco pontos de apoio. Em todos eles foram gerados MDT, MDS, nuvem de pontos e orto mosaico, mas neste artigo serão analisados os ortomosaicos, quanto à precisão planimétrica e continuidade das feições orto retificadas e mosaicadas.

3. RESULTADOS

3.1 Medição dos pontos de apoio e checagem

Os pontos medidos em campo foram de apoio, para melhorar a acurácia do orto mosaico em relação ao sistema de referência SIRGAS 2000 e pontos de checagem para avaliar a precisão. Para a aquisição desses pontos foram utilizados dois receptores modelo HIPER II fabricados pela Topcon. Foi utilizado como base num ponto conhecido previamente da rede da UFPE, EPS4, e outro iria ser o receptor móvel indo nos pontos de interesse. Sendo ambos atrelados a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, RECF. O pós processamento foi realizado com o Topcon Tools cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Coordenadas dos Pontos de Checagem

PONTOS DE APOIO				PONTOS DE CHECAGEM		
Ponto	UTM E	UTM N	h	Ponto	UTM E	UTM N
GCP2	284836,79	9109252,22	6,45	P01	284768,94	9109287,98
GCP3	284821,72	9109181,89	5,46	P02	284816,69	9109263,24
GCP4	284811,64	9109088,58	5,32	P03	284842,61	9109188,23
GCP5	284743,27	9109108,16	5,54	P04	284810,89	9109193,67
GCP8	284735,10	9109220,26	5,90	P05	284791,35	9109191,68
				P06	284798,39	9109162,49
				P07	284775,08	9109153,49
				P08	284763,15	9109143,94
				P09	284801,56	9109100,51
				P10	284828,51	9109095,92

3.2 Processamento das Imagens

A etapa seguinte do trabalho consistiu em gerar os produtos, MDT, MDS e orto mosaico, nos software Pix4D, Photoscan e APS de modo automático. Em alguns processamentos foram eliminadas as imagens tomadas durante as manobras em curvas, que estavam com grande rotação em relação à anterior.

Os três ortomosaicos obtidos estão apresentados nas Figuras 3, 4 e 5. De modo geral as feições baixas, como as calçadas, estão bem nítidas, mas ocorreram problemas com as feições altas, como os topos de prédios e árvores. O resultado melhor ocorre onde a sobreposição é de cinco imagens e o pior nas bordas da área levantada onde a sobreposição das imagens é menor que três, como indicado na Figura 6 obtida do relatório do Pix4D.

Os mosaicos obtidos com o Pix4D e Photoscan podem ser considerados como ortofotos verdadeiras, em as vistas oblíquas dos planos verticais das fachadas dos prédios são eliminadas, e as posições dos pixels dos tetos são corretamente calculados com base no MDS e amostrados. Porém algumas falhas na borda do edifício central como podem ser vistas nos detalhes nas Figuras 7a e 7b, mas na parte interna do telhado o resultado da Pix4D está mais uniforme. Na Figura 7c está o detalhe do mesmo telhado, composto de recortes de várias imagens, obtido com o APS que aparentemente usa a ortoretificação tradicional com base nas altitudes no nível do solo do MDT, mas o software tem a opção de edição manual das linhas de emendas e as descontinuidades podem ser corrigidas, escolhendo as imagens mais adequadas e com isto os bordos ficariam até com aparência melhor.



Figura 3 – Ortomosaico gerado pelo Pix4D



Figura 4 – Ortomosaico gerado pelo Photoscan



Figura 5 – Ortomosaico gerado pelo APS

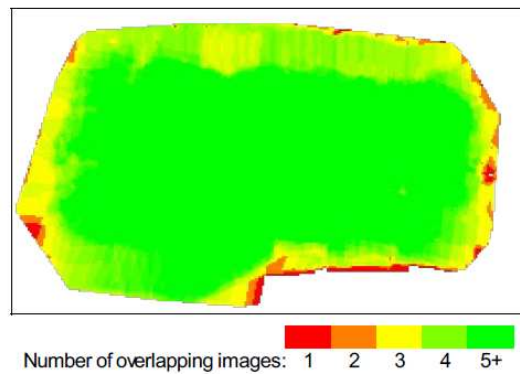


Figura 6 – Quantidade de sobreposições das imagens segundo relatório gerado pelo Pix4D

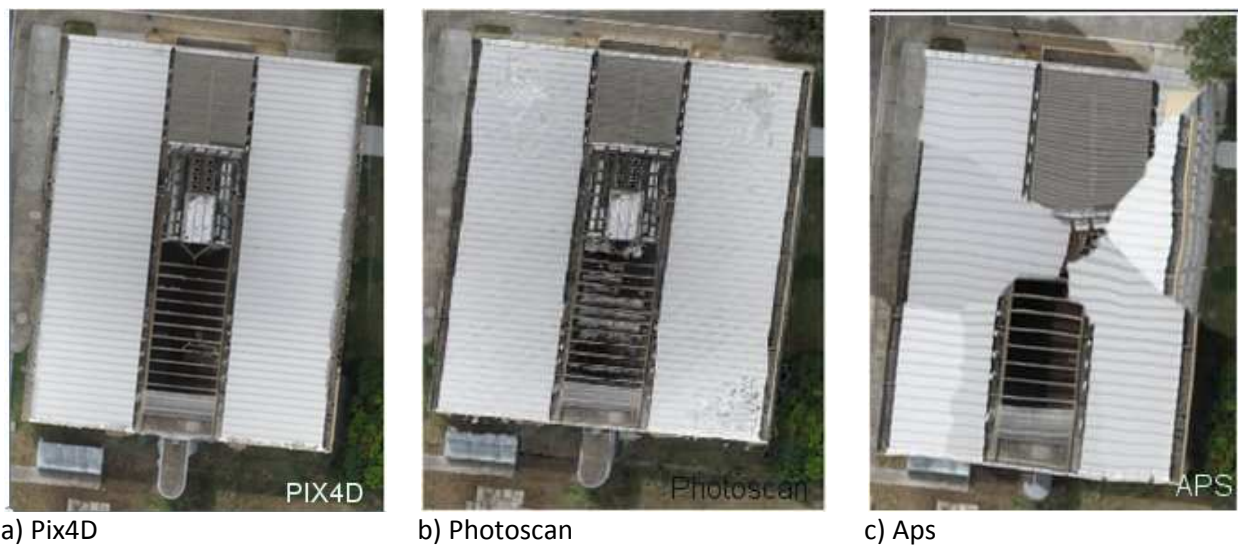


Figura 7 – Detalhes de ortoretificação de telhado

3.3 Análise de precisão planimétrica

Em cada um dos ortomosaicos (Pix4D, APS e Phoscan) os pontos de checagem foram identificados e foram obtidas as coordenadas E e N no sistema de projeção UTM, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Coordenadas lidas dos ortomosaicos, Pix4D, APS e Phoscan

Ponto	E (Pix4D)	N (Pix4D)	E (APS)	N (APS)	E (PScan)	N (PScan)
P01	284768,8595	9109287,9642	284768,9147	9109287,8538	284768,9291	9109287,9893
P02	284816,6505	9109263,1903	284816,6480	9109263,0845	284816,6796	9109263,2176
P03	284842,5714	9109188,1752	284842,6379	9109188,2022	284842,5850	9109188,1969
P04	284810,8082	9109193,6317	284810,7813	9109193,6495	284810,8334	9109193,6392
P05	284791,2926	9109191,6544	284791,2797	9109191,5335	284791,4001	9109191,6336
P06	284798,2291	9109162,4479	284798,2903	9109162,4075	284798,2719	9109162,4573
P07	284775,0240	9109153,4455	-	-	284775,0599	9109153,4551
P08	284763,0871	9109143,8986	284763,1736	9109143,9009	284763,1280	9109143,9174
P09	284801,5047	9109100,4248	284801,5288	9109100,4488	284801,5378	9109100,4002
P10	284828,4939	9109095,9255	284828,5717	9109095,9391	284828,5021	9109095,9102

Percebe-se na Tabela 5 a ausência das coordenadas do ponto P07 que não foi possível identificar no mosaico gerado automaticamente no APS mas é provável que o seja com redefinição das linhas de emenda e recomposição da cena.

As discrepâncias entre as coordenadas GNSS (consideradas como referência) e as lidas nos ortomosaicos estão apresentadas na Tabela 6. Foram calculados alguns indicadores estatísticos como EMQ, EMQ_r e os EMQ_M.

Tabela 6 – Discrepância (D) nas coordenada E e D e Índicadores Estatísticos

	DE (Pix4D)	DN (Pix4D)	DE (APS)	DN (APS)	DE (PScan)	DN (PScan)
	0,081	0,019	0,025	0,129	0,011	-0,006
	0,042	0,046	0,044	0,152	0,012	0,018
	0,042	0,059	-0,025	0,032	0,028	0,037
	0,079	0,036	0,106	0,019	0,054	0,029
	0,058	0,029	0,071	0,150	-0,049	0,049
	0,163	0,041	0,102	0,082	0,120	0,032
	0,054	0,041	-	-	0,018	0,031
	0,066	0,042	-0,021	0,040	0,025	0,024
	0,051	0,089	0,027	0,065	0,018	0,114
	0,0201	-0,003	-0,058	-0,016	0,012	0,013
GSD	0,014		0,013		0,013	
EMQ	0,075	0,046	0,062	0,092	0,047	0,045
EMQ _r	0,088		0,111		0,066	
EMQ _M	0,085 (N=6)	0,057 (N=4)	0,065 (N=5)	0,104 (N=8)	0,052 (N=4)	0,052 (N=4)
EMQ _{Mf}	0,100 (N=5)		0,129 (N=7)		0,074 (N=4)	

Os dados da Tabela 6 mostram que as relações entre o GSD e o maior EMQ (EMQ em E 0,075, em N 0,092, em E 0,047) são aproximadamente 6, 7 e 4 respectivamente para o Pix4d, APS e Photoscan. Os números 6,7 e 4 correspondem às novas classes de precisão para dados planimétricos digitais propostas pela ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) ASPRS (2014), na qual para a classe I o EMQ é igual ao tamanho do pixel e foi deduzida a partir dos ganhos recentes em precisão nos melhores processamentos fotogramétricos digitais. Assim o Photoscan obteria a melhor classificação. Também por esta proposta para a classe I o módulo da escala M é igual ao EMQ/ 0,0125, ou seja, para os mesmos EMQ acima as escalas seriam 1:600, 1:736 e 1: 376.

Os novos indicadores da ASPRS ainda estão em discussão, mas como seus padrões anteriores serviram de referência por muitos anos para produtos de mapeamento digital, eles merecem atenção por permitirem a classificação para qualquer escala ou GSD. Caso a classificação acima seguisse as propostas de normas nacionais (CONCAR, 2011) só seria possível enquadrar na escala 1:1000.

As análises estatísticas aqui não discutiram tendências e precisão dos pontos GNSS, considerados exatos. Mas todos os aspectos devem ser observados porque o GSD é da ordem de 1,4cm, compatível com os levantamentos com VANT e além disso valores pequenos com essa ordem de grandeza exigem uma procedimentos de validação muito rigorosos.

4. CONCLUSÕES

Os processamentos das imagens obtidas com um hexacóptero, com sobreposições adequadas, mesmo de área com características consideradas difíceis, com textura uniforme de grama, prédios e árvores altos, de forma automática, com os softwares APS, Pix4D e Photoscan foram considerados satisfatórios.

Os testes de qualidade quanto à precisão mesmo não sendo completos mostraram que é possível obter escala de até 1:400. A retificação para a posição correta de bordos de telhados que gera ortofoto verdadeira, foi processada pelos Pix4D e Photoscan, apesar de apresentarem algumas descontinuidades. Neste aspecto é necessário também avaliar outras questões, como a finalidade do produto, porque no caso do APS é possível editar as linhas de emendas e o resultado final pode ficar até mais visualmente agradável. É recomendável, para melhores resultados, que haja sobreposição mínima de quatro imagens sobre uma área, para isto é conveniente que haja uma largura adicional à todo o perímetro a ser voado.

REFERÊNCIAS

ABRAMSON, L. **Drones Drifting Into Markets Outside War Zones**. National Public Radio. Retrieved September 19, 2012 from <http://www.npr.org/2012/08/13/158715809/drones-drifting-into-markets-outside-war-zones> 2012.

APS. **APS (Aerial Photo Survey)**. Albenga, Italia: Menci Software. 30 p. 2012.

ARMADA. **The Growing World of Unmanned Airborne Spies**. IN: Armada International, vol. 28, nº3, 2004.

ARIZA, F. J. **Calidad En La Producción Cartográfica**. 1. ed. Madrid, Espanha: Editora Ra-Ma, 2002. 389p. ISBN 84-7897-524-1.

ASPRS. **Accuracy Standards for Digital Geospatial Data**. Março, 2014. Disponível em: <http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_DR_AFT_March21_2014_Rev3_V1.pdf>. Acesso em: 25/07/14.

BRANDÃO, M.P. et al. **UAV activities in Brazil**. First Latin-American UAV Conference. Panama, 2007.

CONCAR. **Especificação Técnica Para A Aquisição De Dados Geoespaciais Vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2.ed.** Exército Brasileiro – CONCAR-EB Brasil. 2011.

EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry in plant sciences and geology**, In: 6th ARIDA Workshop on "Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization, Povo (Trento), Italy, 2008.

EISENBEISS, H. **The Potential of Unmanned aerial Vehicles for mapping**. In: Phogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 135-144. 2011.
Disponível em: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>

KUNG, O., STRECHA, C., BEYELER, A., ZUFFEREY, J.C., FLOREANO, D., FUA, P., GERVAIX, F. **The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light uav imagery**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland, 2011.

MAYR, W. **Unmanned Aerial Systems in Use for Mapping at Blom**. In: Phogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 125- 134. 2011.
Disponível em: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/130Mayr.pdf>

PHOTOSCAN. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0**. Agisoft. 2014. Disponível em: http://www.agisoft.ru/pdf/photoscan_pro_1_0_en.pdf

PIX4D. **Pix4d Training**. Apresentação PPT. 2013a. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/uav.pix4d.com/examples/training/Pix4D+training.pdf>

PIX4D. **Pix4dmapper Software Manual Pix4D Support**. Lausanne, Suíça: Pix4D SA. 2013b. Disponível em: <https://support.pix4d.com/forums/22655307-Manual>

REMONDINO, F., DEL PIZZO, S., KERSTEN, T., TROISI, S. **Low-cost and open-source solutions for automated image orientation – A critical overview**. Proc. Euromed 2012, LNCS 7616, pp. 40-54. Springer, Heidelberg, 2012.

STRECHA, C. **The Accuracy of Automatic Phogrammetric Techniques on Ultra-Light UAV Imagery**. In: Phogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 289-293. 2011.
Disponível em: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo11/280Strecha.pdf>

TEIXEIRA JUNIOR, J. B.; SILVA, D.C. **Integração GPS/Câmera para um sistema de georreferenciamento Direto de Baixo Custo**. Revista Brasileira de Cartografia. N. 63. P.507-514. 2011.