

Precisões obtidas dos Certificados de Calibração da Câmara analógica e das digitais

Prof. Camillo José Martins Gomes

ICA – Instituto de Cartografia Aeronáutica
SDTP – Fundação Serviços de Defesa e Tecnologia de Processos
20021-130 Rio de Janeiro RJ
asdir-ica@decea.gov.br

Resumo: Este trabalho tem por finalidade apresentar os valores obtidos dos certificados de calibração da Câmara Analógica e das Digitais utilizadas nos voos aerofotogramétricos relativos ao projeto e-TOD (Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos) para o Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA). Informa-se neste conteúdo uma visão geral do projeto e uma comparação de resultados, além da conclusão da confiabilidade dos parâmetros fotogramétricos calibrados obtidos que permitiram alcançar as precisões planialtimétricas sugeridas pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI). Trata-se, portanto, de um meticuloso cadastro que possui múltiplas finalidades, em especial na obtenção dos metadados necessários para melhorar cada vez mais a segurança aérea de pousos e decolagens no entorno dos principais aeroportos internacionais brasileiros. Sua continuidade e a inserção destes metadados no projeto de gerência de informações aeronáuticas brasileiras (AIM-BR) consubstancia-se em aspecto técnico de alta relevância.

Palavras chaves: AIM-BR, e-TOD, fotogrametria, câmaras aéreas, calibração.

Abstract: This paper aims at presenting the values obtained from calibration certificates of Analog and Digital Cameras used in aerophotogrammetric flights related to the e-TOD (Electronic Terrain Obstacle Data) project for the Aeronautical Institute of Cartography (ICA). Within this context, a general overview of the project and a comparison of results are provided, and, as a conclusion, it shows the calibrated photogrammetric parameters obtained are reliable and enabled the definition of accurate planialtimetric measurements, as prescribed by the International Civil Aviation Organization (ICAO). Therefore, this work constitutes a detailed register that has multiple purposes, especially obtaining the necessary metadata to enhance, more and more, the air safety in landing and take-off procedures in the outskirts of the main international airports in Brazil. The continuation of this project and the use of these metadata in the AIM-BR (Aeronautic Information Management-Brazil) plays a very important role of technical nature.

Keywords: AIM-BR, e-TOD, photogrammetry, aerial cameras, calibration.

1 Introdução

1.1 Antecedentes

Em 23 de fevereiro de 2004, o Conselho da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) adotou a Emenda 33 para o anexo 15 que incluía entre outros itens, a adição de um novo capítulo 10 denominado Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos e um novo apêndice 8 – Especificações Técnicas para estes dados além de apêndices específicos de Informações Aeronáuticas.

Em 2007 como consultor de Cartografia do ICA fui designado juntamente com um Major Av do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), um Cap Av com Mestrado no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) do 2º/6º GAV (Grupo de Aviação) e um Cap Eng Eletrônico do IEAV (Instituto de Estudos Avançados) para participar de um Seminário Técnico Internacional ministrado pela OACI sobre o assunto na cidade de Lima - Peru. Durante este evento a OACI distribuiu as orientações técnicas e sugestões de execução deste projeto através do DOC-9881 que fornece as diretrizes mais detalhadas aos estados membros sobre as especificações para a geração de tais dados e apresenta um modelo padrão de dados e metadados que devem ser contemplados no projeto e-TOD (Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos).

A base de dados de obstáculos deverá contemplar várias informações e considerar todo o ciclo de vida para um determinado obstáculo. Isto significa manter registros e informações desde a sua aquisição em campo até a sua disponibilização através de meios analógicos ou digitais para o usuário final. Desta forma, é altamente recomendável que os dados obtidos passem por um processo que garanta a sua qualidade.

Esta base de dados sugerida pela OACI possui dois parâmetros interdependentes fundamentais: a área de abrangência e os atributos definidos em termos da acurácia. Além disso, ainda há exigências de metadados e de qualidade da informação, segundo a série ISO (International Organization for Standardization) 19100 de padrões para informações geográficas.

Retornando daquele seminário onde assistimos palestras e demonstrações de experiências internacionais de vários países já envolvidos no projeto e seguindo as orientações da SDOP (Subdivisão de Operações) do DECEA(Departamento de Controle do Espaço Aéreo), o ICA (Instituto de Cartografia Aeronáutica) iniciou seus trabalhos. Foi então constituído um GT (Grupo de Trabalho) para consecução deste objetivo composto seguintes engenheiros cartógrafos:

- a) Cel Eng Cart CAMILLO JOSÉ **MARTINS GOMES**;
- b) 1º Ten Eng Cart **CRISTIANE DE BARROS PEREIRA**;
- c) 1º Ten Eng Cart **RALF VON LASPERG**; e
- d) 1º Ten Eng Cart **LEONARDO MARINI PEREIRA**.

Eles foram os engenheiros pioneiros deste projeto e vimos nas reuniões técnicas que tínhamos um imenso desafio pela frente, entre os quais podemos destacar:

- a) A grande extensão territorial nas escalas a serem executadas e o expressivo número de aeroportos internacionais brasileiros (37);
- b) Definir qual a técnica a ser adotada para o levantamento dos dados e todas as suas implicações nas fases posteriores;
- c) Capacitar recursos humanos para esta hercúlea tarefa;
- d) Adquirir equipamentos capazes de suportar as várias etapas deste mega-projeto;
- e) Alocar através de cronogramas financeiros, consideráveis recursos para cumpri-lo dentro dos prazos sugeridos pela OACI; e
- f) Outros, de elaboração interna na Divisão de Cartografia do ICA.

2 O Projeto e-TOD

Neste X Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário será apresentado uma visão geral do projeto e sua situação atual, pela Cap Eng Cart Cristiane de Barros Pereira – Chefe da Divisão de Pesquisas do ICA.

3 Razões para o Emprego da Aerofotogrametria

As principais técnicas que podem ser aplicadas neste projeto são:

- i. LIDAR – “Light Detecting and Ranging”;
- ii. IFSAR – “Interferometry Synthetic Aperture Radar”;
- iii. AEROFOTOGRAFIA;
- iv. Imagens de Sensores Orbitais de Alta Resolução; e
- v. SIG – Sistema de Informações Geográficas.

A possibilidade do uso dessas técnicas foi informado ao DECEA pelo ICA em relatório técnico com seus respectivos custos e implicações variadas, que fogem ao escopo deste trabalho. Por determinação posterior do Exmo Sr. TEN BRIG DIR DECEA após detalhada explanação pelo CEL AV DIR ICA a técnica escolhida foi a da aerofotogrametria que para os levantamentos de dados plani-altimétricos, possibilita medidas de excelente precisão e é capaz de atender aos requisitos numéricos sugeridos pela OACI. Um fator de peso nesta decisão foi a FAB possuir um esquadrão de aerolevantamento (1º/6ºGAV) sediado em **RECIFE – PE**. Desta forma, iniciou-se um projeto piloto no Aeroporto de **CONFINS – MG**, tendo sido realizado um voo aerofotogramétrico com câmara aérea analógica ($f = 300\text{mm}$) na escala aproximada de 1:8.000 prevendo-se sua restituição na escala de 1:2.000 num raio de 10 km a partir da ARP (Ponto de Referência de Aeródromo).Na fase atual a FAB já adquiriu para esta Organização Militar três câmaras aéreas digitais (ADS -80) que se encontram em fase de testes, devendo já no ano de 2012 serem voados vários aeroportos Internacionais brasileiros referentes ao projeto, com as prioridades previstas pelo ICA.

4 As Características Técnicas das Câmaras Aéreas Empregadas no Projeto e-TOD e os Dados Contidos em seus Certificados de Calibração

4.1 Câmara Analógica

No primeiro aeroporto voado pelo 1º / 6º GAV, (**CONFINS – MG**) utilizou-se uma câmara aérea analógica RMK 30/23 cuja calibração foi realizada nos laboratórios da empresa Carl Zeiss na Alemanha, construtora da referida câmara e mundialmente reconhecida como uma das melhores . No certificado entregue ao ICA juntamente com as fotos aéreas coloridas da área do Projeto constam diversos dados técnicos entre os quais podemos citar:

- a) Distância focal nominal: 305,00 mm;
- b) Distância focal calibrada: 304,960 mm;
- c) Distância em relação ao ponto principal de simetria (PPS) – 0,001 m; e
- d) Ponto Principal de Autocolimação e Centro Fiducial.

Tabela 1 - Coordenadas, Referidas ao PPS

	x (mm)	y (mm)
PPA	- 0,019	- 0,004
FC	0,003	- 0,010

Tabela 2 - Coordenadas das Marcas Fiduciais, Referenciadas ao Ponto Principal da Simetria (PPS)

Ponto	x (mm)	y(mm)
1	113,006	-0,005
2	-112,999	-0,014
3	0,008	112,993
4	-0,001	-112,999

O certificado completo está arquivado na seção de Fotogrametria (CAR-4) do ICA . Esta foi a única câmara analógica empregada no projeto e-TOD.

4.2 Câmaras Digitais

Em face da exiguidade dos prazos para cumprimento das diversas etapas do projeto quatro importantes

aeroportos foram escolhidos numa fase inicial, são eles: **GUARULHOS – SP; CONGONHAS – MG; GALEÃO – RJ; e S. DUMONT – RJ**, sendo dois deles internacionais. A Divisão de Cartografia elaborou um cronograma de prioridades e providenciou um **Termo de Referência** com todas as especificações técnicas para a execução com câmara digital de grande formato, nas fases iniciais, ou seja,o voo aerofotogramétrico com câmara digital e a aerotriangulação.A modalidade da licitação foi a de pregão eletrônico. A empresa vencedora dos aeroportos do **GALEÃO-RJ** e **SANTOS DUMONT-RJ** foi a **TOPOCART** que voou as áreas previstas com câmara digital.

4.2.1 Características da Câmera

- a) Modelo: Ultracam X prime
- b) Fabricante: Vexcel Imaging GmbH – A8010 Graz – Austria.
- c) Tipo de Lentes: Linos Vexcel HR - Digaron – w/5,6/70mm
- d) Tipo de Sensor: Conjunto de CCDs (Charged Coupled Device)
- e) Dimensão do Sensor: 47,520 X 70,224 mm
- f) Nº Efetivo de “Pixels”: 7920 X 11704 “pixels”
- g) Dimensão do “Pixel”: 6,0 µmm
- h) Distância Focal Nominal: 70mm

A calibração foi realizada nos laboratórios da VEXCEL na Áustria e no certificado constam os detalhes técnicos tais como os parâmetros da calibração geométrica e radiométrica, a verificação da qualidade das lentes e do sensor de ajustamento, a calibração do obturador, a calibração dos elementos defeituosos dos “pixels” e a calibração do sensor e dos seus elementos eletrônicos .Os aeroportos de Congonhas e Guarulhos situados na cidade de São Paulo foram voados pela empresa **AEROIMAGEM**, que utilizou a câmara digital ADS-80 da Leica Geosystems AG e apresentou o certificado de calibração original da fábrica..Neste documento, constam os dados dos componentes do sistema como um todo, ou seja, os sistemas de lentes, a Placa de Módulo Focal (FPM), a Unidade de Medida Inicial e o sistema de Posicionamento com GPS/GLONASS, o “layout” nominal da Placa do Plano Focal (FPM) do sistema testado, o processo de calibração, o nome e assinatura dos inspetores, os resultados da calibração geométrica contidos no arquivo: 1302-081103-1.zip, nos quais constam os valores das linhas estéreo, o desalinhamento do IMU expresso em radianos, as linhas coloridas e as linhas de pares pancromática escalonados. Foi informado ainda neste certificado a data da calibração, além, da identificação numérica , o nome e a assinatura do inspetor responsável pelo mesmo.

Cumpre também informar que três câmaras aéreas digitais ADS 80 foram adquiridas pela FAB para o 1º/6º Grupo de Aviação sediado na cidade de Recife e que irão ser utilizadas segundo a prioridade estabelecida pelo ICA para sete aeroportos internacionais ainda em 2012 em continuidade a este projeto. A ADS 80 (Sensor Digital de Bordo) trata-se de um Sensor Digital Linear de altíssima resolução geométrica e radiométrica , fabricada pela Leica Geosystems AG – Suiça.

Extrai os seguintes dados técnicos dessas câmaras digitais nos certificados de calibração.
Processos de calibração – datas : 01/03/2011; 15/03/2011 e 26/08/2011.

4.2.1.1 Ajustes dos Sistemas Óticos em Laboratório

- a) Sinal Escuro Não Uniforme: DSNU;
- b) Reposta de Foto Não Uniforme: PRNU; e
- c) Modulação da Função de Transferência – MTF.

4.2.1.2 Voo e Processamento de Dados

- a) Voo Teste;
- b) Processamento de Dados de GPS e IMU;
- c) Latência do Acelerômetro do IMU;
- d) Latência do IMU; e
- e) Processamento de Dados da Imagem.

4.2.1.3 Resultados da Calibração Geométrica

As coordenadas aparentes de calibração para todas as linhas do sensor estão contidas nos arquivos de calibração anexados aos certificados. São eles:

- a) 1322-110301-1.zip;
- b) 1324-110315-1.zip; e
- c) 1332-110826-1.zip.

Linhos incluídos:

- a) PANFZ7A;
- b) PANFO2A; e
- c) PANB14A.

Método de Calibração:

- a) Estimativa de parâmetros adicionais de ajuste simultâneo do feixe.

Sigma Zero dos ajustamentos em feixe:

- a) $0,6\mu$ (1^a);
- b) $0,9\mu$ (2^a); e
- c) $1,1\mu$ (3^a).

Redundância Média Local:

- a) >0,5.

Precisão das coordenadas aparentes de calibração do “pixel” = $1,0\mu$ para as três câmaras. Os resultados finais dos ajustamentos em feixe após a eliminação de erros de pontos de amarração e antes da introdução do controle de campo, fazem parte dos certificados de calibração das três câmaras .

Foram também obtidos os resultados do desalinhamento do IMU cujos valores constam dos certificados. É interessante frisar que os parâmetros obtidos em $\omega(\hat{\omega})$; $\mu(f_i)$ e $\kappa(kapa)$ são praticamente nulos, pois, os resultados estão contidos após a 4^a ou 5^a casa decimal depois da vírgula ou seja são desprezíveis em termos de operações fotogramétricas.

4.2.1.4 Linhas Coloridas

Linhos incluídos:

- a) BLUN00A;
- b) REDN00A;
- c) GRNN00A;
- d) NIRN00A;
- e) BLUB16A;
- f) REDB16A;
- g) GRNB16A; e
- h) NIRB16A.

Método de Calibração:

- a) ajuste polinomial robusto ideal dos resíduos do ponto de amarração do ajustamento em feixe.

Precisão média do ajustamento estimado para:

- a) Azul, Verde, Vermelho: ± 1.0 micron; e
- b) NIR: ± 1.0 micron.

Precisão das coordenadas aparentes do “pixel”

- a) ± 1 micron.

4.2.1.5 Linhas dos Pares Pancromáticos Escalonados

Linha B :

- a) PANF02B.

Método de Calibração:

- a) Transferência dos resultados das linhas A usando o deslocamento escalonado conhecido.

Precisão das coordenadas aparentes do pixel:

- a) idêntico linhas: A.

Precisão relativa entre as linhas de um par escalonado:

- a) $\pm 0,5$ micron.

Em continuidade as etapas do projeto e-TOD a empresa **ENGEMAP**, vencedora da licitação para o voo do aeroporto de **SALVADOR-BA**, a mesma apresentou o certificado de calibração geométrica no qual constam as seguintes informações técnicas:

4.2.2 Equipamento Saapizo

- a) Modelo da câmara: H3D – 50 Megapixels – Digital,
- b) Lente : HC 50 mm,
- c) Distância focal nominal: 50 mm,
- d) Dimensão do quadro: 49 X 36,9 e
- e) Dimensão do pixel: 6,0 X 6,0 μm .

4.2.2.1 Dados de Calibração

- a) Data da calibração: 16/05/2011,
- b) Validade da calibração: 16/05/2012,
- c) Data de aquisição das imagens: 15/05/2011,
- d) Campo de calibração: Assis – São Paulo,
- e) Método de calibração: campo,
- f) Software de calibração: in Block INPHO – versão 5.30,
- g) Abertura: f/68,
- h) Nº de imagens: 39 ,
- i) Nº de pontos de controle: 57,
- j) Nº de observações: 7474,
- k) Graus de Liberdade: 5.571,
- l) Variância de peso a priori: 1,0 e
- m) Variância de peso a posteriori: 0,7.

4.2.2.2 Parâmetros de Calibração

Os parâmetros de calibração obtidos são os seguintes:

1. Distância focal: $f = 50,398\text{mm} \pm 0,002\text{ mm}$;
2. Ponto principal:
 - $x_0 = 0,011\text{mm} \pm 0,004\text{ mm}$ e
 - $y_0 = 0,003\text{ mm} \pm 0,002\text{ mm}$;
3. Distorção Radial Simétrica:
 - $K_1 = -3,9986E - 007\text{mm}^2 \pm 1,5E - 0,7\text{ mm}^2$,
 - $K_2 = -1,3188E - 009\text{ mm}^4 \pm 3,6E - 10\text{ mm}^4$ e
 - $K_3 = 1,8904E - 012\text{ mm}^6 \pm 2,7E - 13\text{ mm}^6$;
4. Distorção Descentralizada:

- $P1 = 5,0975E - 07 \text{ mm}^4 \pm 5,0E - 0,7 \text{ mm}^4$ e
- $P2 = 7,5387E - 07 \text{ mm}^4 \pm 4,7E - 97 \text{ mm}^4$.

O certificado apresenta ainda em anexo as formulações matemáticas do modelo funcional utilizado, além do critério de aceitação da calibração classificada como classe 1, para aplicações de precisão com propósitos de mapeamento em área urbana de forma que o nível de precisão para o processo (variância de peso unitário) e para os parâmetros (desvio padrão) seja menor ou igual a 1 (um), tendo sido obtido a precisão nas medidas das coordenadas o valor de 0,2 "pixel", portanto dentro dos critérios de aceitação da calibração digital.

A empresa **HIPARC** vencedora do pregão eletrônico para os aeroportos internacionais de **RECIFE-PE** e **BRASÍLIA-DF** apresentou o certificado de calibração de câmara digital com os seguintes dados obtidos no BRASIL.

4.2.3 Características da Câmara

- a) **Modelo:** UltraCam Lprime;
- b) **Fabricante:** Vexcel Imaging GmbH, A-8010 Graz, Áustria;
- c) **Número de Série:** S/N UC-Lp-2-00410036;
- d) **Tipo de Lentes:** Linos Vexcel HR-Digaron-W 5,6/70mm – Linos GmbH, Germany;
- e) **Número de Série:**
- f) **Tipo de Sensor:** Conjunto de CCDs (Charged-Coupled Device);
- g) **Dimensão do Sensor:** 47,520 X 11704 "pixels";
- h) **Dimensão do Pixel:** 6,0 μm ; e
- i) **Distância Focal Nominal:** 70 mm.

4.2.3.1 Informações sobre a Calibração

- a) **Método de Calibração:** Calibração do Sistema;
- b) **Campo de Teste:** Tridimensional – Vitória – Hiparc;
- c) **Tomada de Imagens:** Realizado pela Empresa Hiparc em 18/10/2011;
- d) **Autorização de Voo:** Autorização MD. Nº 429/2011;
- e) **Número de Fotos:** 10;
- f) **Altura de Voo:** 700 m;
- g) **Resolução no Terreno:** 0,06 m;
- h) **Abertura Focal:** f/8;
- i) **Sensibilidade:** (ISO) : 100;
- j) **Tempo de Exposição:** 1/1000 segundos;
- k) **Número de Alvos Utilizados:** 83;
- l) **Número de Medidas:** 332;
- m) **Graus de Liberdade:** 397; e
- n) **Programa Utilizado nas Medidas Fotogramétricas:** 3D Monoplotter.

Além disso, apresentou um “**Calibration Report**” com os resultados da calibração realizados nas instalações da **VEXCEL** na cidade de **GRAZ-AUSTRIA** constando todas as informações técnicas, tendo sido usado como documento oficial e de referência com relação ao equipamento em questão. Ainda constam deste certificado, a orientação da Imagem e referenciais envolvidos, os parâmetros determinados na calibração, os valores médios de Distorção Radial Sismétrica, os valores máximos da distorção descentrada e as fórmulas de correção das distorções radial simétrica e descentrada no referencial fotogramétrico, o nome do engenheiro responsável pela calibração e respectivo registro em cartório.

Em continuação a este imenso projeto a empresa **ESTEIO** vencedora das áreas correspondentes aos aeroportos internacionais **PORTO ALEGRE-RS** e **CURITIBA-PR** voou aquelas áreas utilizando uma Câmera Digital **ADS 40** fabricada pela **Leica Geosystems-AG**. Foi apresentado o certificado de calibração com respectiva tradução pública juramentada e interprete comercial, além do certificado oficial emitido pela Leica, dentro dos prazos de validade previstos. Nele constam os componentes da referida câmara, com os sistemas de lentes, a placa do Módulo Focal (FPM), a Unidade de Medida Inercial e o Sistema de Posicionamento com GPS/GLONASS, o “layout” nominal da Placa do Plano Focal (FPM) do sistema testado, o processo de calibração, o nome e a assinatura dos inspetores, os resultados da calibração geométrica contidas no arquivo; 30111-090825. Zip, nos quais constam os valores das linhas estéreo, o desalinhamento do IMU expresso em radianos, as linhas coloridas e as linhas dos pares pancromáticos

escalonados.

5 Conclusões

Faz-se mister ressaltar que em projetos aerofotogramétricos a importância da exigência nos editais, da apresentação dos certificados de calibração das câmeras aéreas sejam elas analógicas ou digitais, dentro das validades previstas. Desta forma, o engenheiro cartógrafo fotogrametrista, responsável pelo mesmo, terá a garantia de que os dados obtidos expressam a fidedignidade das informações coletadas, visando a implantação das fases posteriores. O ICA já se capacitou para a obtenção de metadados por meio da fotogrametria e em futuro próximo irá gerenciar o banco de dados do AIM-BR no qual serão inseridos os elementos plani-altimétricos com as precisões sugeridas no documento 9881 da OACI, cujo aspecto principal é fornecer ainda maior segurança nos poucos de decolagens dos aeroportos internacionais brasileiros na fase inicial. Na realidade o projeto e-TOD é um cadastro multifinalitário com objetivos de mapeamentos específicos aeronáuticos.

É importante, também, lembrar que a utilização de câmeras digitais no projeto e-TOD que representou uma grande diferença em relação às metodologias tradicionais, ou seja, o uso de câmeras analógicas para a cobertura aerofotogramétrica. Cumpre ainda destacar a alta precisão dos dados originais dos elementos de orientação exterior determinados em tempo real e pós processados, além de uma significativa diminuição dos pontos de apoio levantados no Apoio Suplementar, praticamente eliminando erros de identificação e reduzindo consideravelmente o tempo de execução desta importante etapa. Estes aspectos tem influências diretas nos custos de projetos que envolvam a cobertura aerofotogramétrica e as fases posteriores de mapeamento.

O ICA está sendo o pioneiro na América do Sul, em relação ao projeto e-TOD, capacitando seus engenheiros cartógrafos e técnicos fotogramétricos, quebrando paradigmas e em breve será capaz de exportar aos estados componentes do CAR-SAM (Caribe e América do Sul) esta metodologia de trabalho, caso haja solicitação, através do DECEA. Finalizando, o ICA pretende apresentar novos resultados obtidos do projeto e-TOD nos próximos COBRAC.

6 BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS DA INTERNET

Cramer, M.: *Digital Camera Calibration And Validation: Communicating The Theory And Practice.* Geoinformatics. Euro SPR, 2005a, 8(2):16 – 19.

Cramer, M.: *Digital Airbone Cameras, status and future – ISPRS Work Shop on High – Resolution Earth,* 2005b.

Leica Geosystems – <http://www.leica.geosystems.com> /en/Airborne – Imaging – 8616. htm.

Aeroimagem S/A Engenharia e Aerolevantamento, <http://www.aeroimagem.com.br>

Remondino, F.; Fraser, C.: *Digital Camera Calibration Methods: Considerations and Comparisons.* ETH, Zurich, Switzerland. Universe of Melbourne, Australia.

Fraser, C.S.: *Digital Camera Self-Calibration ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* Vol 52, pp 149-159.

Engemap - Engenharia Mapeamento e Aerolevantamento Ltda . <http://www.engemap.com.br> certificado de calibração de câmara digital.

Esteio – Engenharia e Aerolevantamentos S.A. <http://www.esteio.com.br/> ADS 40 Calibration Certificate.

Hiparc – Geotecnologia Sistemas e Aerolevantamentos Ltda www.hiparc.com.br . Certificado de Calibração Ultracam Lprime VEXCEL –Graz – Austria - 2011.

Topocart – Topografia, Engenharia e Aerolevantamento www.topcart.com.br/ Calibration Report VEXCEL UltraCam X.

Leica – ADS 80 – Calibration(s) Certificate(s) Leica Geosystems AG – Heinrich – Wild – Strasse 9435 – Heerbrugg – Switzerland – 2011.

e-TOD - Doc 9881: *Guidelines for Eletronic Terrain, Obstacle Aerodrome Mapping Information* International Civil Aviation Organization - ICAO – 2004.