

## **CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS DIGITAIS: CONFIGURAÇÃO DO APOIO DE CAMPO E O PROBLEMA DA CORRELAÇÃO DE PARÂMETROS.**

Melodie Kern Sarubo Dorth, Maurício Galo. Geociências - Engenharia Cartográfica - Departamento de Cartografia – Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente.

Em trabalhos de fotogrametria é necessário o conhecimento dos parâmetros inerentes à reconstrução do feixe perspectivo que gera a imagem fotográfica, no momento da tomada da foto. Assim sendo, nota-se a importância de um processo de calibração de câmaras, onde busca-se determinar os parâmetros que determinam a geometria da câmara utilizada para a aquisição das imagens. Neste processo de calibração calculam-se, em conjunto, os parâmetros de orientação exterior (posição e orientação dos centros perspectivos) e os parâmetros de orientação interior, que são os parâmetros que descrevem a geometria interna da câmara, tais como a constante da câmara ( $f$ ), posição do ponto principal ( $x_0, y_0$ ), parâmetros da distorção radial simétrica ( $k_1, k_2, k_3$ ), parâmetros da distorção descentrada ( $P_1, P_2$ ), dentre outros, conforme descrito por Andrade e Olivas (1981) e Tommaselli (1993).

O processo de calibração de câmaras pode ser subdividido em algumas etapas, desde a implantação de pontos de apoio com coordenadas no espaço objeto conhecidas (que pode ser feito por diversas técnicas, tais como as topográficas ou mesmo usando a tecnologia GPS por exemplo); a extração de coordenadas no espaço imagem, com acurácia da ordem do pixel ou subpixel (este depende do tipo de alvo implantado no campo de teste e da disponibilidade de um aplicativo que possibilite tal extração); o processamento da calibração; e as análises estatísticas no que concerne a avaliação da significância dos parâmetros, levando-se em consideração a influência de cada um deles no erro total modelado.

Contudo, do ponto de vista prático, é impossível modelar matematicamente todas as influências sofridas pela câmara. Logo, num processo de calibração, uma das etapas se refere ao estudo dos erros sistemáticos que afetam o sistema, devendo-se definir um modelo matemático que incorpore estes erros e que represente com maior aproximação da realidade o fenômeno em questão. Um outro problema que deve ser levado em conta é o da correlação entre alguns dos elementos de orientação interior e exterior (por exemplo entre  $f$  e  $Z_{cp}$ ,  $x_0$  e  $X_{cp}$  e  $y_0$  e  $Y_{cp}$ ), sendo ( $X_{cp}, Y_{cp}, Z_{cp}$ ) as coordenadas do centro perspectivo, onde busca-se reduzir este ao máximo, para que a solução do sistema não seja afetada. Uma das maneiras de se conseguir esta diminuição da correlação é através da alteração entre os desníveis dos pontos de controle utilizados. Considerando estes aspectos, o objetivo deste projeto consiste na análise da geometria dos pontos de apoio do campo de testes, bem como da posição e orientação das câmaras durante a aquisição das imagens, que também contribuem para a minimização da correlação entre alguns parâmetros.

Assim, numa fase inicial deste trabalho foram obtidos resultados com o processamento de dados simulados e posteriormente, usando dados reais, que foram obtidos a partir do uso de câmaras digitais disponíveis na UNESP / FCT Campus de Presidente Prudente.

Além disso, foram feitos testes considerando-se erros aleatórios na determinação das coordenadas obtidas por simulação e um teste considerando-se um bloco aerofotogramétrico simulado, no qual as imagens possuem a geometria equivalente à de uma câmara grande angular de quadro 23x23cm. Este bloco serve para comparar a correlação obtida por um bloco obtido com esta câmara, com os resultados obtidos por uma câmara digital. Também foram incorporados os erros sistemáticos referentes às distorções radial simétrica e descentrada nas coordenadas das imagens obtidas por simulação, bem como foi feita a análise da correlação para imagens reais obtida por uma câmara digital.

As imagens utilizadas tiveram seus pontos medidos em coordenadas imagens ( $c, l$ ) no programa MID (Reiss, 2005), a partir de fotografias tomadas no campus da Unesp – Presidente Prudente, com a câmara Kodak Professional 14 N (<http://www.kodak.com>) de distância focal nominal de 40mm, que permite obter imagens com 4500x3000 pixels, tendo o pixel a dimensão de 8x8 $\mu$ m. Numa segunda etapa deste projeto foram adquiridas 28 imagens no campo da calibração localizado no campus da Unesp, em 2 épocas diferentes (16 de junho de 2006 e 04 de julho de 2006), com a câmara Digital Sony 10 MP, modelo

DSC-R1 de distância focal equivalente de 24mm, tamanho do pixel equivalente de 0,009 mm e dimensão da imagem de 3888 x 2592 pixels.

A partir destas 28 imagens foram selecionadas 12 imagens, com o intuito de se trabalhar com diferentes orientações e fazer análises considerando o desnível mínimo para o caso de câmaras digitais. Para que esta análise ficasse mais completa fez-se uma comparação entre os valores dos coeficientes de correlação entre os parâmetros  $X_{cp}$  e  $x_0$ ,  $Y_{cp}$  e  $y_0$  e  $Z_{cp}$  e  $f$  obtidos por uma câmara digital (que geralmente possuem menor abertura) com o caso em que uma câmara convencional (usando um bloco simulado) é utilizada.

Após a medição dos pontos e obtenção das coordenadas (c,l) dos pontos na imagem, têm-se as observações necessárias para o uso do software CC (Galo, 2004) que irá fornecer, além dos parâmetros de orientação interior e exterior, as coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  e suas respectivas precisões. Além desses dados podem ser gerados gráficos de resíduos para a análise do ajustamento e arquivos com os valores das correlações entre os parâmetros. Os arquivos com os valores dos coeficientes de correlação entre os parâmetros são usados na análise da correlação, permitindo assim que se façam as devidas mudanças nos desníveis para que se possa avaliar a diminuição/aumento das correlações entre alguns dos parâmetros.

Para a primeira parte deste projeto os parâmetros de orientação interior obtidos nos processamentos realizados foram:  $f$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ; além dos elementos de orientação exterior de cada foto e as coordenadas  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  do espaço objeto. Na segunda parte foram incluídos os demais parâmetros de orientação interior, referentes às distorções radial simétrica e descentrada ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $P_1$  e  $P_2$ ).

Para se avaliar o comportamento da correlação entre parâmetros, para campos de calibração com diferentes configurações do apoio, diferentes orientações das câmaras, etc; fez-se o desenvolvimento de um aplicativo, em linguagem de programação C++ denominado *prog.cpp*, usando o compilador DEV C++. Diferentes situações foram consideradas: simulações com coordenadas imagens (c,l) isentas de distorções, com erros sistemáticos e em outros casos com erros aleatórios e sistemáticos. Além disso, para fins de comparação do coeficiente de correlação obtido no caso de câmaras digitais com o obtido no caso de câmaras métricas convencionais, simulou-se um bloco onde as imagens são “obtidas” por uma câmara métrica convencional ( $f=153$  mm, quadro focal=230x230mm).

Nos resultados obtidos para os casos simulados percebe-se que as correlações entre  $x_0$  e  $X_{cp}$  e entre  $y_0$  e  $Y_{cp}$  se mantiveram todas abaixo de 90%, contudo, as correlações entre  $f$  e  $Z_{cp}$  se apresentaram elevadas, sendo que os maiores valores encontrados foram nos casos onde foram consideradas imagens sem convergência. Os menores coeficientes  $\rho_{c,X_{cp}}$  correspondem ao caso em que o desnível entre os pontos de apoio foi maior (30%) e as imagens eram convergentes, sendo isso um indicador de que para este tipo de câmara, os desníveis precisam ser maiores, para que estas correlações sejam reduzidas de modo significativo.

Nos resultados obtidos no bloco simulado com as mesmas características de câmaras métricas convencionais, o coeficiente de correlação entre  $f$  e  $Z_{cp}$ , varia de 76% (para os menos correlacionados) e 97% (para os mais correlacionados) quando se altera o valor de  $Z$  em 20%, e de 98% a 99% para o caso normal; o coeficiente de correlação entre  $x_0$  e  $X_{cp}$  varia de 47% (para os menos correlacionados) a 64% (para os mais correlacionados) quando se altera o valor de  $Z$  em 20%, e de 97% a 99% para o caso normal; o coeficiente de correlação entre  $y_0$  e  $Y_{cp}$  varia de 37% (para os menos correlacionados) a 55% (para os mais correlacionados) quando se altera o valor de  $Z$  em 20%, e de 98% a 99% para o caso normal. Os melhores resultados obtidos para todos os coeficientes de correlação citados acima foram para o caso onde se utilizou 4 fotos obtidas com duas escalas diferentes, sendo importante ressaltar que a idéia de se trabalhar com duas escalas foi baseada no trabalho de Andrade & Olivas (1981).

Para o caso onde se utilizou dados reais obtidos com a câmara Sony 10 MP, modelo DSC-R1, as correlações entre  $f$  e  $Z_{cp}$  variaram de 83% (para os menos correlacionados) até 99% (para os mais correlacionados), entre  $x_0$  e  $X_{cp}$  variaram de -3% até  $\pm 76\%$  (para os mais correlacionados) e entre  $y_0$  e  $Y_{cp}$  de  $\pm 3\%$  até  $\pm 44\%$ . Fazendo uma análise abrangendo 4 fotos e as correlações entre os seis elementos de orientação mencionados, percebe-se que as correlações entre  $x_0$  e  $X_{cp}$  e entre  $y_0$  e  $Y_{cp}$  se mantiveram todas abaixo de 85%, contudo, as correlações entre  $f$  e  $Z_{cp}$  se apresentaram elevadas (todas acima de 83%). Os

menores coeficientes de correlação encontrados foram para o caso onde se considerou 4 imagens convergentes e as hastes presentes em 5 pontos.

Concluindo, para os casos simulados os valores dos coeficientes de correlação encontrados entre  $X_{cp}$  e  $x_0$ , e  $Y_{cp}$  e  $y_0$  se mantiveram menores quando comparados com os obtidos entre os parâmetros  $Z_{cp}$  e  $f$ , que só resultaram em valores baixos para casos simulados, no qual se tinha grande convergência ou casos com desnível simulado acima de 30% da altura de vôo (ou distância câmara-alvo para o caso terrestre). Para os casos mais próximos do caso aéreo (sem convergência), o melhor resultado obtido foi o caso onde se trabalhou com 4 fotos e valores de  $Z$  alterados de 30%.

Para o caso onde se simulou um bloco teste de imagens obtidas a partir de uma câmara métrica convencional, o caso onde se considerou um desnível de 20% e se trabalhou com duas escalas foi o que apresentou melhor resultado. De acordo com os testes simulados percebe-se que a diferença entre os desníveis utilizados, quando se trabalha com câmaras métricas e os desníveis utilizados quando se trabalha com câmaras digitais é diferente. Isso pode ser explicado pela diferença existente entre o ângulo de abertura para um caso e o ângulo de abertura para o outro. Por exemplo, para uma câmara métrica com distância focal  $f=152$  mm, e quadro focal  $=230 \times 230$  mm, o ângulo de abertura é aproximadamente  $94^\circ$ . Já no caso onde se trabalha com uma câmara digital (como a usada na simulação), com tamanho da imagem de  $4500 \times 3000$  pixel, com pixels de dimensão  $0,008$  mm (quadro focal  $=36 \times 24$  mm) e distância focal  $f=40$  mm, tem-se um ângulo de abertura da ordem de  $57^\circ$ . A partir destes ângulos pode-se ver a diferença na abertura, sendo um indicador de que a geometria tem um reflexo na qualidade da reconstrução e na obtenção dos parâmetros de OI para estas duas categorias de câmaras.

Quando se trabalhou com dados reais, verificou-se que a inserção de pontos com desnível em  $Z$  (hastes) contribuiu para a melhoria do resultado, principalmente quando são utilizadas imagens convergentes.

## **Referências Bibliográficas**

GALO, M. **Estrutura dos dados de entrada/saída do aplicativo para a calibração de câmaras**. Relatório Interno - Unesp – Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, 28p. 2004.

REISS, M. L. L. **MID - Monocomparador de Imagens Digitais**. Unesp – Departamento de Cartografia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente SP. 2002.

TOMMASELLI, A. M. G. **Um método recursivo aplicado ao problema de localização em visão de máquina**, 1993, p. 142, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Unicamp, Campinas.

ANDRADE, J. B. A.; OLIVAS, M. A. A. **Calibração de câmaras aerofotogramétricas**. Curitiba: Boletim da Universidade Federal do Paraná nº 26, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1981, p. 39.

CLARKE, T. A.; WANG, X.; FRYER, J. G. The principal point and CCD cameras. **Photogrammetric record**, V. 16 (92), p.293-312, outubro 1998.

SHORTIS, M.R.; ROBSON, S.; BEYER, H. A. Principal point behavior and calibration parameter models for kodak DCS cameras. **Photogrammetric record**, V. 16 (92), p. 165-186, outubro 1998.

Bolsa: **PIBIC/CNPq**