
CALIBRAÇÃO DE CAMPO DE CAMERAS DE PEQUENO FORMATO PARA FINS DE MONITORAMENTO DE OBRAS CIVIS

ANA BEATRIZ PRADO RODRIGUES

MARCIO AUGUSTO REOLON SCHMIDT

Universidade Federal de Uberlândia - UFU Faculdade
de Engenharia Civil, Uberlândia, MG
pradoab@outlook.com; marcioschmidt@feciv.ufu.br

RESUMO - Este artigo apresenta os resultados da calibração de campo de câmeras de pequeno formato realizada nas dependências do campus Santa Mônica da UFU. A técnica das câmeras convergentes foi aplicada a alvos fixos na parede de uma edificação e foram tomadas diferentes fotos em diversas posições. O objetivo deste procedimento é permitir a determinação dos parâmetros geométricos do sistema lente/sensor que permitirá a aplicação de câmeras simples e acessíveis no uso de monitoramento de obras civis. Para a execução desta pesquisa foi implantada uma malha regular de pontos de monitoramento na face sul da edificação em uma distribuição regular. Esta etapa antecipa o trabalho de monitoramento e detecção de qualquer movimentação do prédio. Para a calibração e monitoramento, foi criada uma rede geodésica de referência composta de cinco poligonais com alguns vértices em comum no entorno do prédio. Além de densificar o referencial local adotado, esta rede permite certificar que qualquer movimentação detectada seja do prédio em si e não do terreno. O processamento foi realizado com o programa CC da Unesp e os resultados foram promissores na aplicação desta técnica para uso na engenharia civil com conseqüente redução de custos.

ABSTRACT - This paper presents the results of field calibration of small format digital cameras held at Universidade Federal de Uberlândia. The technique of the converging cameras applied to fixed targets on the wall of a building and various photographs taken at several positions. The purpose of this procedure is to allow the determination of the geometric parameters of the lens-sensor set that allow the implementation of simple and affordable cameras in the use of monitoring civil building. To carry out this research a regular monitoring grid points on the south face of the building on a regular distribution. This step anticipates the work of monitoring and detecting any movement of the building. For calibration and monitoring, was established a geodetic reference network with five polygonal with some vertices in common around the building. In addition, to densify the local referential adopted, this network allows certify that any movement detected is on building itself and not surrounded area. The calibrations was proceed with the CC program and the results were promising for the application of this technique for use in civil engineering with a consequent cost reduction.

1 INTRODUÇÃO

No campo da engenharia civil, todas as estruturas estão sujeitas a movimentos que podem estar ou não dentro das especificações de projeto (Stewart e Tsakiri, 2006). O monitoramento destes movimentos em obras civis tem se tornado cada vez mais importantes para a prevenção de desabamentos parciais ou totais de obras e, além disso, avaliações dos efeitos de recalques anormais de fundações sob o ponto de vista de projeto.

Nas construções, o terreno sobre o qual recairão as cargas projetadas se torna o principal elemento de investigação, pois se sabe que, mesmo depois da realização de ensaios de campo e laboratório, os solos apresentam grandes variações nos parâmetros geotécnicos. Ressalta-se aqui a importância no acompanhamento durante e após a execução da estrutura, permitindo-se, assim, a investigação seu comportamento a partir da medição de recalques na obra, baseado na previsão teórica dos limites admissíveis de deslocamento (Seixas *et al*, 2009).

A definição de um sistema de referência e um conjunto de pontos em campo é de fundamental importância para o monitoramento dos movimentos da estrutura analisada. O monitoramento é usado para se avaliar a estabilidade e comportamento da obra. A partir daí, a realização de medidas em campo em caráter regular em longo prazo permite

avaliar se o componente da estrutura funciona como pretendido. Para isto, a auscultação geodésica visa subsidiar as medições de pontos de interesse distribuídos na área de estudo e nas faces das edificações e obras civis.

Para a sua realização em campo, a auscultação geodésica se utiliza de um conjunto de equipamentos e dispositivos para levantamentos topográficos de alta precisão instalados nas estruturas e em suas fundações objetivando monitorar seu desempenho através de medições de parâmetros como ângulos e distâncias lineares. Assim, com resultados devidamente analisados e interpretados têm-se condições para avaliar as condições de segurança da edificação.

As características desejáveis em sistemas de auscultação incluem comprovada durabilidade e robustez, simplicidade de manutenção e utilização, o fornecimento de conjuntos de dados regulares e confiáveis, e os requisitos mínimos de pessoal para a coleta de dados (Seixas *et al.*, 2009). As técnicas tradicionais de levantamento geotécnico normalmente são limitadas aos locais que os instrumentos podem ser instalados durante a construção como clinômetros e extensores. Com o tempo estes equipamentos perdem eficiência e são, no caso de grandes obras, abandonados dentro da própria estrutura. As técnicas topográficas, por outro lado, podem efetivamente monitorar movimentos tridimensionais, mas é um processo relativamente lento devido à densidade de pontos que precisam ser regularmente monitorados. Esta técnica, porém, apresenta como vantagem a flexibilidade de se alterar a densidade espacial de pontos de monitoramento em casos em que áreas críticas sejam identificadas na estrutura (Myers e Stater, 2008).

No entanto, na prática, as limitações de tempo e a exigência de linhas de visadas desobstruídas a partir de pontos de referência até os de monitoramento podem se tornar uma dificuldade para a instalação dos pontos em um referencial estável para dar apoio ao monitoramento. Por isso, uma recente atualização é o emprego do Sistema de Posicionamento Global (GPS) que oferece um método confiável e eficiente para monitoramento espacial tridimensional. Porém, para se obter a precisão necessária são necessários equipamentos e programas de processamento que tem custos elevados de aquisição e manutenção. Em ambos os casos, monitoramento com estações totais e receptores GPS fixos nos pontos de referência, as condições extremas como mudanças de temperatura, refração atmosférica e flutuações de pressão podem alterar as propriedades ópticas do meio ambiente, inibindo assim a operação do equipamento.

Dentro desse enfoque, o objetivo geral do trabalho é avaliar a viabilidade da calibração de câmeras de pequeno formato para uso no monitoramento de obras civis através de pontos de coordenadas conhecidas fixados nas paredes externas da edificação. Esta pesquisa é etapa importante na aplicação em desenvolvimento do monitoramento de movimentos estruturais a partir de técnicas de baixo custo. Esta viabilidade será determinada a partir da análise dos resultados obtidos com o uso de uma câmera de pequeno formato, calibrada em campo, e os resultados das coordenadas dos pontos de monitoramento comparados aos métodos tradicionais de auscultação geodésicas. Para este estudo uma série de levantamentos foi realizada em uma área experimental na Universidade Federal de Uberlândia na qual existe uma rede de pontos planialtimétricos vinculada a uma estação de monitoramento contínuo da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) presente no campus.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia desta pesquisa considerou duas etapas: a expansão da rede de controle planialtimétrica através da implantação de novas poligonais e o monitoramento de pontos específicos de uma área teste a partir da rede de controle.

Portanto, inicialmente se deu a implantação dos pontos da rede de controle para o monitoramento. Esta etapa se iniciou com o estabelecimento de uma rede de pontos com alta precisão geométrica estruturados em uma rede de controle construída a partir de poligonais com vértices coincidentes. A determinação das coordenadas destes vértices foi realizada através de poligonais pelo método do caminhamento com uso de estação total. A leitura dos ângulos foi realizada pelo método dos pares conjugados (Comastri e Gripp Jr, 2004). A Figura 1 apresenta a distribuição dos pontos e das poligonais desta pesquisa.

No trabalho realizado foi implantada uma rede planialtimétrica de referência no campus Santa Mônica da UFU (figura 1) e uma malha de pontos de monitoramento nas faces sul e oeste do bloco 5R deste campus. As poligonais que densificam o referencial tem seus vértices determinados a partir da leitura de ângulos e distâncias nas áreas de entorno da edificação a ser monitorada. Este referencial serviu de base para os testes. A marcação dos pontos foi realizada de pela fixação de chapas de alumínio em calçadas e corpos de prova de concreto com chapas de alumínio em área naturais. A materialização dos vértices com uso de um com esse material é importante para que os pontos possam ser revisitados em diferentes épocas para novas medições. Além disso, o alumínio evita grandes deformações decorrentes do tráfego de pessoas e intempéries de modo a garantir a não alteração do ponto materializado durante o período do projeto. A intervisibilidade de pontos é condição necessária para que o ângulo horizontal entre duas direções seja determinado com uso de uma estação total.

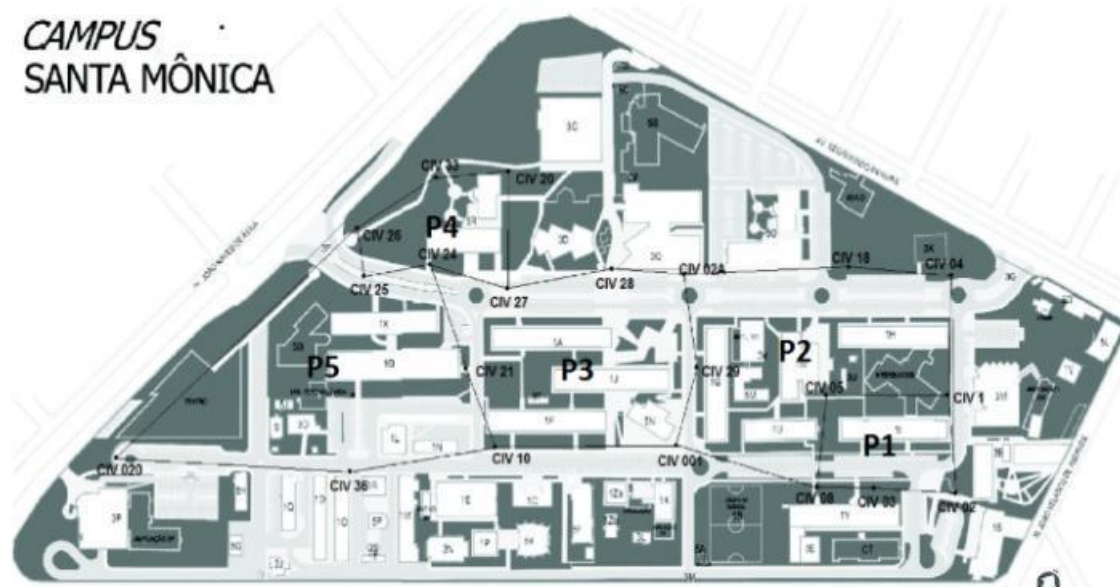


Figura 1 – Rede planialtimétrica instalada no Campus Santa Mônica – UFU

Para o levantamento das poligonais foi utilizado uma estação total com 5" de precisão angular e 3mm+3ppm de precisão linear, totalizando 5 (cinco) poligonais no campus. Com a estação total foram determinados todos os ângulos horizontais e distâncias entre os vértices da rede de controle. As cotas foram obtidas através de nivelamento geométrico. Para a coleta dos dados, foram feitas 4 (quatro) séries de leituras angulares para ser possível a determinação da média e dos desvios-padrão de cada série. Estes valores foram posteriormente usados como valores *a priori* na análise de propagação de variâncias e o ajustamento dos dados.

O referencial definido para as poligonais tem suas coordenadas definidas pela topografia em termos de ângulos e distâncias em um referencial local, pois segundo os autores Mendonça *et al.* (2010), mesmo para pequenas distâncias (inferiores a 100m), o modelo injuncionando pontos de controle diretamente em coordenadas UTM resultaria numa inconsistência do modelo de ajuste pelo método dos mínimos quadrados e faria o teste global por qui-quadrado rejeitar a hipótese nula. Logo, escolheu-se para esta pesquisa, a utilização de referenciais topocêntricos, de maneira a obter maior precisão quanto aos cálculos das coordenadas de controle. O próximo passo da metodologia foi a determinação dos pontos de calibração, fixados nas paredes externas da edificação comparando os métodos tradicionais da geodésica, com alvos fixos, e com emprego da fotogrametria terrestre após a calibração da câmera em campo.

Um exemplo de uso de câmeras de pequeno formato para tomada de imagens que permitam a extração de informações espaciais com alta qualidade geométrica é apresentado por Dai e Lu (2010). Estes autores apresentaram uma proposta de realizar o monitoramento de recalques com uso de câmeras fotográficas de pequeno formato. Entretanto, a pesquisa realizada pelos autores apresentou uma série de problemas em relação ao controle de distorções e propagação de variâncias nas estações de controle. Esta evidente falta do controle da qualidade resultou em dados coletados com precisões abaixo das técnicas convencionais e inviabilizou quaisquer conclusões sobre o potencial uso da técnica no monitoramento de obras civis. Por isso, esta pesquisa adota como hipótese que câmeras de pequeno formato, não métricas, calibradas em campo e posicionadas adequadamente sobre vértices de uma rede de controle, instalada no local da obra, podem fornecer a mesma qualidade geométrica no controle de deslocamentos verticais e horizontais de obras civis e geotécnicas que os métodos de auscultação geodésicas tradicionais.

O método de calibração selecionado para esta pesquisa é o método das câmeras convergentes. A calibração das câmeras é sempre um requisito imprescindível para garantir um sistema de mensuração de elevada confiabilidade. Segundo Olivas (1980), no que tange a fotogrametria, a calibração é a determinação de números indicadores das propriedades que garantem as características métricas do sistema e a qualidade de seu desempenho. Segundo Galo (1993) a calibração pode ser entendida como um procedimento para a determinação de um conjunto de parâmetros inerentes à câmera, os quais permitem a reconstituição do feixe perspectivo que deu origem à imagem. Para Fryer (1989) o termo orientação interior é usado para descrever os parâmetros interiores à câmera que modelam a passagem do raio de luz ao plano da imagem. O conjunto de parâmetros que é usualmente determinado com a calibração de câmera constitui de: constante da câmera, o ponto principal de autocolimação e os parâmetros de distorção radial e descentrada. O Método das Câmeras Convergentes é adequado para calibrar câmeras de pequeno formato destinadas à Fotogrametria à Curta Distância. O método consiste em tomar fotos convergentes que geram uma geometria muito forte, capaz de quebrar todas as correlações entre os parâmetros de calibração e os de orientação externa da câmera em fotos tomadas com eixos não convergentes (Andrade, 2005).

2.1. Coleta dos dados de campo

Sobre os pontos da poligonal de controle estabelecida no entorno do bloco 5R, de coordenadas conhecidas, foram tomadas uma série de fotografias dos alvos fixados na face sul da edificação. As posições tomadas foram de topo e com a linha de visada aproximadamente a 45° com a parede. Uma vez que os valores da distância focal, os parâmetros do ponto focal e as distorções radial e descentrada sejam conhecidos, passa-se para a cobertura fotogramétrica da área de teste. A sua aplicação consiste na tomada de doze fotos sendo tomadas com a câmera em posição direta e em 90° à direita e 90° à esquerda entorno do eixo de visada para cada uma das posições. O giro em torno de eixo de visada quebra as correlações entre as distorções radial simétrica e a descentrada. Além disso, na posição de topo a altitude na segunda tomada foi ligeiramente alterada para que o ângulo de incidência da linha de visada ficasse próximo ao ortogonal. O esquema de tomada das fotos pode ser observado na figura 2.

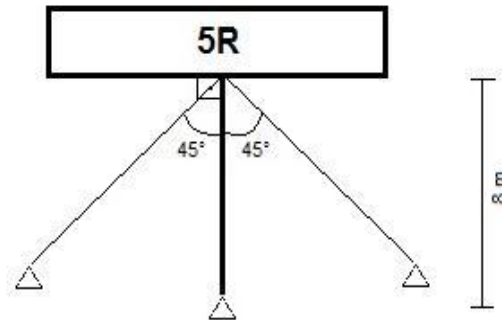


Figura 2 - Esquema de tomada das fotos para calibração da câmera de pequeno formato.

Para este método o referencial da câmera é definido pelas posições da câmera e a sua atitude e a distância entre duas posições de centros de perspectiva, ou a medição de uma distância entre dois alvos quaisquer. Esse método é o mais robusto de todos, no sentido que os resultados são muito precisos em virtude de sua forte geometria (Andrade, 2005).

Para a realização do monitoramento por fotogrametria terrestre, foi utilizada uma câmera digital FujiFilm fd1000s não métrica e de pequeno formato, com lentes zoom de 5,9mm a 70,8mm e com 10Mp de resolução (figura 3). Esta câmera foi colocada sobre um tripé instalado sobre os pontos da poligonal de controle e com uso de uma base nivelante. O protótipo da base nivelante é parte de um projeto de inovação tecnológica e os dados obtidos nesta pesquisa servirão para avaliação e validação deste equipamento. Trata-se de um dispositivo de acoplamento câmera – tripé, de baixo custo, que permite a determinação da atitude da câmera de forma a alinhar o ponto central do sensor com a vertical do ponto.



Figura 3 – Equipamento utilizado

O programa utilizado para calcular os elementos geométricos de calibração foi o CC (*Calibração de Câmera*) desenvolvido pelo prof. Maurício Galo da UNESP – Presidente Prudente. Com a inserção de uma lista de coordenadas dos pontos de calibração lidos em campo e seus homônimos tomados nas fotografias em termos de linhas e colunas, este programa calcula a distância focal, as coordenadas x e y do centro perspectivo, os parâmetros de distorção radial e descentrada.

3. RESULTADOS

A seguir, pode-se observar na Tabela 1 as coordenadas dos pontos da rede de controle utilizando o método tradicional.

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos da rede de controle pelo método tradicional (omitidos os pontos intermediários).

Pontos	X	Y	Z
C11	1138,985	1000,991	203,248
C12	1138,493	1000,107	203,231
C13	1137,980	999,284	203,245
C14	1137,483	998,411	203,245
C21	1138,994	1000,995	202,252
C22	1138,486	1000,140	202,245
C23	1137,999	999,273	202,231
C24	1137,483	998,371	202,253
C31	1139,017	1001,011	201,224
C32	1138,516	1000,152	201,220
C33	1138,006	999,295	201,242
C34	1137,506	998,426	201,263

A seguir, pode-se observar na Tabela 3 os parâmetros obtidos através da calibração da câmera de pequeno formato.

Tabela 1 - Parâmetros encontrados na calibração da câmera de pequeno formato.

Parâmetro	Valor encontrado
f =	46.1355.753
x0 =	-0.238432
y0 =	-0.189079
k1 =	-.6299556E-04
k2 =	-.9023845E-08
k3 =	0.2777264E-09
p1 =	0.0000000E+00
p2 =	0.0000000E+00
A =	0.0000000E+00
B =	0.0000000E+00

4. CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, será realizado o controle da qualidade do levantamento através do ajustamento dos dados obtidos pelo método dos mínimos quadrados – MMQ, bem como a investigação da influência das variâncias e covariâncias nas observações obtidas tanto por método tradicional quanto pelos métodos alternativos.

Em um momento futuro, a partir dos parâmetros obtidos pela calibração a câmera de pequeno formato, será determinada também as coordenadas dos pontos da rede de controle através da utilização da fotogrametria terrestre, e a avaliação da viabilidade do método.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. do R. de. **Fotogrametria dinâmica: Determinação Fotogramétrica Digital de Deformações em Elementos Estruturais de Madeira**. Tese. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. 112p, 2005.

COMASTRI, J.A. e GRIPP JR, J. **Topografia aplicada: medição, divisão e demarcação**. Editora UFV. ISBN 85-7269-036-0, 2004.

DAI, F. E LU, M. **Evaluation of photogrammetry for monitoring settlement of building adjacent to foundation jobsite**. Anais do International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Nottingham University Press, 2010.

FRYER, J. G. **Camera Calibration in Non-Topographic Photogrammetry**. In; Karara, H. M. Non-Topographic Photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Cap. V, 59-69, 1989.

GALO, M. **Calibração de Aplicação de Câmeras Digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MENDONÇA, F. J. B., *et al.* **Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos utm e topocêntrico**. Curso de Tecnologia em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

MYERS, B. e STATELER, J. **Why Include Instrumentation in Dam Monitoring Programs? United States Society on Dams**. United States of America. ISBN 978-1-884575-45-7, 2008.

OLIVAS, M. A. A. **Calibração de câmaras fotogramétricas**. Curitiba. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 1980.

SEIXAS, A. DE; SEIXAS, J.R. DE; SEIXAS, J.J. DE. **Auscultação geodésica no controle de recalque da fundação de edifício predial de grande porte**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 15, no 2, p.277-298, 2009.

STEWART, M. e TSAKIRI, M. **Long-term dam surface monitoring using the global positioning system**. Journal of Geospatial Engineering, V. 3. Pp 45-57, 2006. Disponível em: <www.lsgi.polyu.edu.hk/staff/zlli/vol_3_1/05_maria.pdf> Acessado em 28 dez. 2013.