

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRATÉGIA PARA A MEDIÇÃO AUTOMÁTICA DE PONTOS HOMÓLOGOS EM FOTOTRIANGULAÇÃO. Rodrigo Ferreira Lopes, Antonio Maria Garcia Tommaselli. Engenharia Cartográfica – Departamento de Cartografia – Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente.

Do ponto de vista geométrico, uma Estação Fotogramétrica Digital (EFD) funciona de maneira similar aos instrumentos analíticos, pois a geometria projetiva e os modelos matemáticos são similares. No entanto, uma EFD utiliza imagens digitais ao invés de diapositivos, permitindo o acesso ao seu conteúdo radiométrico e facilitando a extração de informação e medição automática de pontos e outras feições (MORGADO, 1997). A fototriangulação é um dos processos fotogramétricos que se beneficiam desta possibilidade de automação ao usar imagens digitais.

A fototriangulação é uma técnica indireta para a determinação dos parâmetros de orientação exterior de uma ou várias imagens, das coordenadas de pontos num referencial específico e das estimativas de precisão destas variáveis. O objetivo principal é a determinação de coordenadas precisas dos pontos necessários para a orientação absoluta de modelos fotogramétricos, sendo o modelo matemático mais utilizado as equações de colinearidade (ANDRADE, 2003).

No processo de fototriangulação são usadas três entidades do tipo ponto: marcas fiduciais, pontos de controle e pontos fotogramétricos. As marcas fiduciais das câmaras analógicas asseguram a geometria interna da câmara que define o sistema imagem; no caso de câmaras digitais, não são necessárias. Para que as coordenadas de pontos no espaço objeto geradas sejam referidas a um sistema de coordenadas pré-definido, necessário se faz um mínimo de pontos de controle (LUGNANI, 1987). Segundo Andrade (2003), os pontos fotogramétricos podem ser selecionados por um operador, visando obter boa qualidade ou podem ser escolhidos automaticamente.

O advento de novas tecnologias como a de posicionamento por satélites (GPS), de determinação da atitude com sistemas inerciais, bem a disponibilização de modelos de terreno globais, permitem modificar o tradicional processo de Medição Automática de Pontos. O processo de medição automática de pontos proposto neste trabalho segue o fluxograma apresentado na Figura 1.

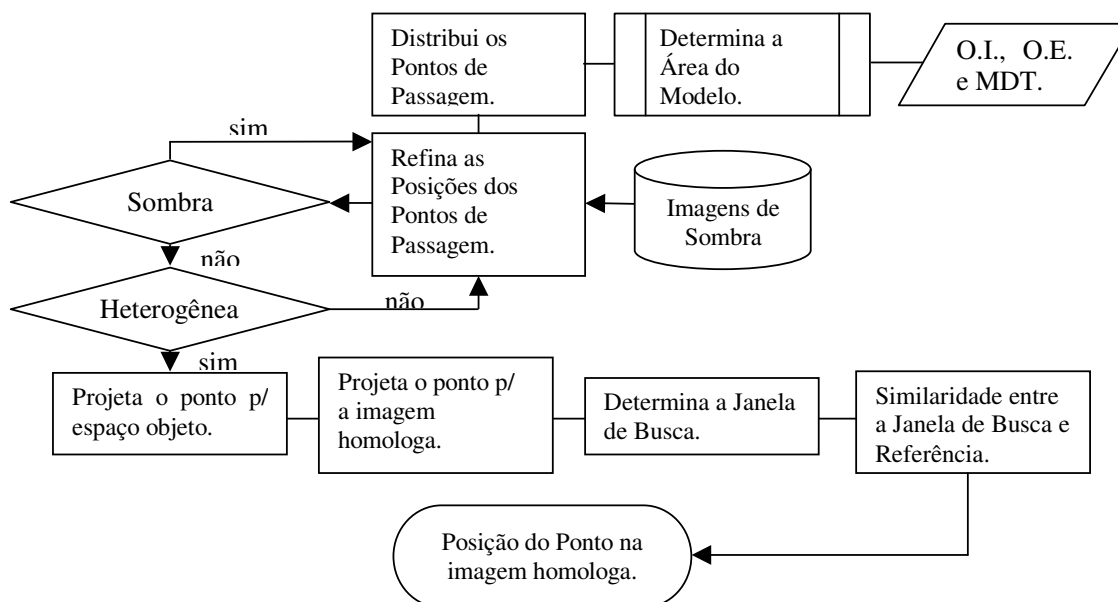


Figura 1 – Etapas da Medição Automática de Pontos de Passagem.

A etapa inicial do processo é entrada de dados. Considera-se que os parâmetros de Orientação Interior (OI), os parâmetros de Orientação Exterior (OE) e o Modelo Digital do Terreno (MDT), sejam conhecidos, pelo menos com alguma aproximação. A OI é obtida com os dados do certificado de calibração da câmara, e os dados da OE são obtidos diretamente com o voo apoiado, integrando-se um GPS e uma Unidade de Medida Inercial (IMU). O MDT pode ser obtido de mapeamentos anteriores

ou de um modelo global, como o obtido pela Missão Topográfica por Radar Interferométrico (SRTM), cuja precisão é compatível com mapas na escala 1:50000 ($\sigma \sim 12$ m).

Os dados de OE podem ter precisão variável, dependendo dos tipos de receptores GPS e IMUs usados (RUY, 2004). Com os dados de OE é possível determinar a área de sobreposição entre as imagens homólogas, definindo assim a área do modelo. Pode-se, então, fazer a distribuição dos pontos de passagem (fotogramétricos) sobre o modelo. Um exemplo da distribuição de 15 pontos fotogramétricos, sobre a área de um modelo com sobreposição de 60%, é apresentada na figura 2.

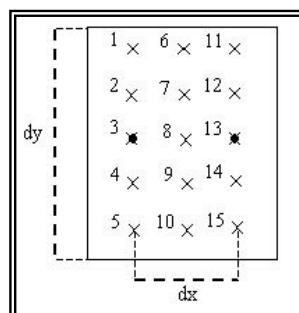


Figura 2 – Exemplo de distribuição dos Pontos de Passagem.

A partir da área do modelo e da posição do centro perspectivo das duas imagens é possível determinar as distâncias dx e dy . A distribuição dos pontos de passagem é realizada pela subdivisão destas distâncias. Em cada ponto mostrado na figura 2 define-se uma região na qual será locada uma janela de referência para o processo de correspondência (COSTA et al, 2003). Na região ao redor do ponto teórico deve-se procurar locar uma janela adequada para a correspondência. O primeiro processo realizado é a exclusão das regiões com pixels de sombra. As sombras são detectadas através de uma decomposição da imagem para o sistema IHS que é calculada pela seguinte equação (POLIDORIO et al, 2005):

$$SDW = I - S \quad (1)$$

Os atributos de alta saturação e de baixa intensidade luminosa das sombras permitem a sua detecção através desta operação simples. Ao aplicá-la, as sombras se tornam mais escuras que os demais alvos, permitindo sua separação das demais feições presentes na imagem. Esse processo pode ser realizado à parte, e integrado à etapa de refinamento das posições dos pontos de passagem.

O segundo passo para a seleção da janela de referência é a definição do ponto de interesse, com base no operador de Förstner (FÖRSTNER, 1986, HALARICK, 1993 e COSTA et al, 2003). Este processo, que é uma espécie de pré-análise da janela de referência, consiste em selecionar uma janela heterogênea, ou seja, regiões onde o processo de correlação tem uma menor possibilidade de encontrar falsas correspondências (ponto de interesse de Förstner). O tamanho da janela de referência foi definido empiricamente como 9x9 pixels. Na figura 3 são mostradas duas janelas: a da figura 3(a) é homogênea e inadequada para a correspondência ao passo que a 3(b) é heterogênea e permitirá correlação adequada.

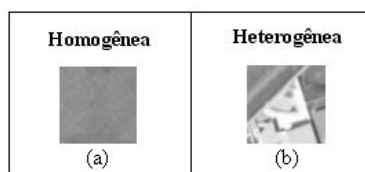


Figura 3 – (a) Região Homogênea (b) Região Heterogênea (ponto de interesse)

Para se discriminar esses tipos de janelas são adotados dois critérios. No primeiro a variância das translações da janela é considerada menor que 100; o segundo critério adotado é que o traço da MVC das translações da janela seja maior que 0,09 (COSTA et al, 2003).

Em cada imagem do bloco fotogramétrico os pontos de passagem selecionados são projetados para o espaço objeto usando a equação de colinearidade em sua forma inversa, interpolando-se as

altitudes do MDT disponível. Com isto, gera-se uma nuvem de pontos fotogramétricos no espaço objeto. Quanto mais precisas forem as informações de OE e do MDT, mais próximas ficarão as coordenadas destes pontos projetados em relação aos valores finais a serem calculados no ajuste por feixes perspectivos.

Para cada ponto fotogramétrico no espaço objeto, aplica-se, então a equação de colinearidade em sua forma direta, o que permitirá localizar a janela de busca em cada imagem do bloco. Os tamanhos adotados para a janela de busca foram definidos como um tamanho padrão de 69x69 pixels. Este valor foi definido considerando a precisão dos parâmetros de OE e dos pontos do MDT. Quanto mais precisos os dados de OE e do MDT, menor será a distância do centro da janela ao ponto homólogo.

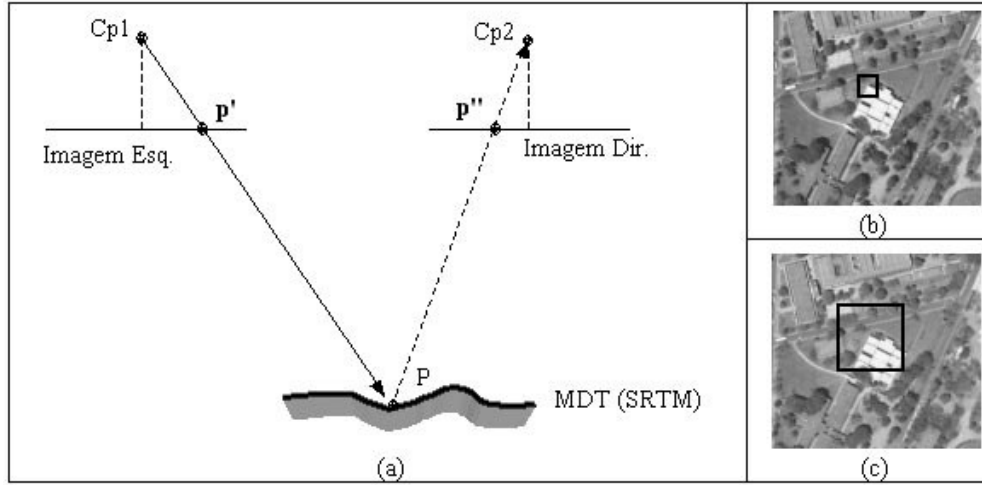


Figura 4 – (a) Processo de Pesquisa aos Pontos
(b) Janela de Referência na Imagem Esq. (c) Janela de Busca na Imagem Dir.

Uma vez definidas as janelas de busca passa-se à etapa de correspondência. Nesta é calculada a correlação existente entre a janela de referência e de busca, tendo como dados as tonalidades de cinza das duas janelas. A equação (2) expressa o coeficiente de correlação entre duas matrizes de tons de cinza.

$$\rho = \frac{\sigma_{RB}}{\sigma_R \sigma_B} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_{R(i,j)} - \bar{g}_R)(g_{B(i,j)} - \bar{g}_B))}{\sqrt{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_{R(i,j)} - \bar{g}_R)^2 \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m (g_{B(i,j)} - \bar{g}_B)^2}} \quad (2)$$

Onde: σ_{RB} é a covariância entre as janelas de referência e de busca;

σ_R é o desvio-padrão da janela de referência;

σ_B é o desvio-padrão da janela de busca;

n, m são as dimensões das janelas de referência;

$g_{R(i,j)}$ é o nível de cinza da posição na janela de referência;

$g_{B(i,j)}$ é o nível de cinza da posição (i, j) na janela de busca;

\bar{g}_R é a média dos níveis de cinza da janela de referência; e

\bar{g}_B é a média dos níveis de cinza da janela de busca

A correlação (ρ) é um valor que varia entre -1 e $+1$. O valor zero significa ausência de correlação; o valor $+1$ significa correlação total positiva; o valor -1 significa correlação negativa.

Este processo, baseado em valores a priori de OE e de altitude, permite a aproximação da janela de busca e a minimização de falsas correspondências, um dos problemas na fototriangulação automática.

Para testar esta hipótese foram utilizados dados reais, com quatro imagens adquiridas com a câmara digital Kodak DCS Pro 14N em um voo sobre o município de Presidente Prudente (outubro/2003), na escala aproximada de 1:30.000. Foram gerados dois modelos nos quais foram distribuídos 30 pontos de passagem.

Ao final do processo é apresentada uma relação dos pontos obtidos com suas posições (coluna e linha), em suas respectivas imagens e com o seu Coeficiente de Correlação (CC) entre a Janela de Referência e Busca.

Para exemplificar são apresentados na Tabela 1 alguns desses pontos.

Tabela 1 – Posições dos Pontos de Passagem nos Modelos Formados.

Identificador	Imagem Esquerda		Imagem Direita		CC
	Coluna (pixel)	Linha (pixel)	Coluna (pixel)	Linha (pixel)	
2	2216	1571	245	1300	0,79
3	2272	2030	287	1810	0,61
17	2255	1430	562	1478	0,96
25	3953	445	2281	532	0,72
27	3947	1431	2274	1519	0,85

Tais posições foram inspecionadas visualmente em suas respectivas imagens, verificando-se grandes variações nos CC, o que significa que ocorreram algumas correlações falsas.

Os resultados obtidos com o processo de coleta automática de pontos de passagem mostraram-se adequados no que diz respeito à drástica redução do espaço de busca, e às poucas falsas correspondências, que podem ser eliminadas com algoritmos de detecção de erros grosseiros. Esta técnica reduz o tempo de processamento e torna o método mais robusto.

Sugere-se o desenvolvimento de trabalhos futuros nos quais sejam integrados a este procedimento a correspondência com os canais de cores e o refinamento da correspondência para atingir a precisão subpixel. O uso dos canais de cores deverá reduzir o número de falsas correspondências e o refinamento subpixel melhorará a exatidão posicional das correspondências.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. SBEE. Curitiba, PR, 2003.
- COSTA, E. R.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. Incorporação da Pré-Análise no Processo de Correspondência de Pontos em Fotogrametria Digital. **XXI Congresso Brasileiro de Cartografia**. 2003, Belo Horizonte. Anais eletrônicos – CD-ROM. Rio de Janeiro: SBC, 2003.
- FÖRSTNER, W. A feature based correspondence algorithm for image matching. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Rovaniemi, 1986, v.26.
- HARALICK, R; SHAPIRO, L.G.; **Computer and robot vision**. Addison-Wesley Publishing Company, 1993, v.2.
- LUGNANI, J. B. **Introdução a Fototriangulação**. Curitiba: Editora UFPR, 1987.
- MORGADO, A. M. Fotogrametria Digital – Automatização da Orientação de Imagens Digitais. **Cartografia e Cadastro**, nº. 6, junho/1997.
- POLIDORIO, A. M., Flores, F. C., Imai, N. N., Tommaselli, A. M. G. and Franco, C. Automatic shadow segmentation in aerial color images. **Proceedings of the IEEE XVI Brazilian Symposium on computer graphics and image processing**, 12 – 15 October, São Carlos, Brazil, 2003.
- RUY, R. S., 2004. **Geração Automática de Estereomodelos a partir de Imagens Digitais Georreferenciadas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.