

Referências Bibliográficas

ADE, F. The Role of Artificial Intelligence in the Reconstruction of Man-Made Objects from Aerial Images. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

ALMEIDA, C. M.; SOUZA, I. M.; ALVES, C. D.; PINHO, C. M. D.; QUEIROZ, G. R.; FEITOSA, R. Q. Multilevel Object-Oriented Classification of Quickbird Images for Urban Population Estimates. **15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems**, Seattle, 2007.

ALOBEID, A.; JACOBSEN, K.; HEIPKE, C. Building Height Estimation in Urban Areas From Very High Resolution Satellite Stereo Images. **IntArchPhRS (38)**, Hannover, Partes 1-4-7/WS, 2009.

ASP. **Manual of Photographic Interpretation**. 1.ed. Estados Unidos: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1960. 868p.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.58, Issue 3-4, p.12-33, 2000.

BAXES, G. A. **Digital image processing: principles and applications**. 1.ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 1994, 480p.

BEUCHER, S.; MEYER, F. The Morphological Approach to Segmentation: The Watershed Transformation. In: **Mathematical Morphology in Image Processing**. 1.ed. Estados Unidos: CRC Press, 1993. p. 433-482.

BOUDET, L. A Supervised Classification Approach Towards Quality Self-Diagnosis of 3D Building Models Using Digital Aerial Imagery. **ISPRS Symposium of Commision III**, Bonn, v.XXXVI, Parte 3, 2006.

BRETAR, F. Digital Terrain Model on Vegetated Areas: Joint Use of Airborne

Lidar Data and Optical Images. **ISPRS PIA07**, Munique, 2007.

BRITO, J. L. N. S. **Precision of Digital Ortoimages: Assessment and Application to the Occlusion Detection Problem**. Ohio, 1997. Tese de Doutorado - The Ohio State University.

BRITO, J. L. N. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed.UERJ, 2007. 196p.

BRITO, J. L. N. S.; SILVEIRA, M. T.; JACOBSEN, K.; AMORIM, S. S.; MOTA, G. L. A.; FEITOSA, R. Q.; HEIPKE, C. Monitoring Of Height Changes In Urban Areas From Multitemporal, Multi-Scale And Multi-Platform Remotely Sensed Data. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII , Parte B1, p. 835-840, 2008.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. 2.ed. Estados Unidos: Oxford University Press, 1998. 356p.

CANNY, J. A Computational Approach to Edge Detection. **IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.8, Issue 6, p. 679–698, 1986.

CHAMPION, N. A Robust Algorithm for Estimating Digital Terrain Models From Digital Surface Models in Dense Urban Areas. **ISPRS Symposium of Commision III**, Bonn, v.XXXVI, Parte 3, 2006.

CHAMPION, N. 2D Building Change Detection From High Resolution Aerial Images and Correlation Digital Surface Models. **ISPRS PIA07**, Munique, 2007.

CHEHATA, N.; PIERROT-DESEILLIGNY, M.; STAMON, G. Hybrid Digital Elevation Model production guided by 3D-primitives: A global optimization algorithm using graph cuts. **IEEE Image Process International Conference**, v.II, p.117-120, 2005.

CHEHATA, N.; DAVID, N.; BRETAR, F. LIDAR Data Classification Using Hierarchical K-means clustering. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII, Part B3b, p.325-330, 2008.

DEMARQUI, E. N. **Determinação Semi-Automática da Altura de Edifícios em Imagens Aéreas**. Presidente Prudente, 2007, 149p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

DORNAIKA, F. A Test of 2D Building Change Detection Methods: Comparison, Evaluation and Perspectives. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII, Parte B4, p. 297-304, 2008.

DORNAIKA, F. An Efficient Approach to Building Superstructure Reconstruction Using Digital Elevation Maps. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII, Parte B3a, p. 179-184, 2008.

DOUGHERTY, E. R. **Mathematical Morphology in Image Processing**. CRC Press, 1992, p. 433-481.

DUDA, R. O.; HART, P. E.; STORK, D. G. **Pattern Classification**. 1.ed. Estados Unidos: Wiley-Interscience, 2001, 654p.

DURUPT, M.; TAILLANDIER, F. Automatic Building Reconstruction From a Digital Elevation Model and Cadastral Data: An Operational Approach. **ISPRS Symposium of Commision III**, v.XXXVI, Parte 3, Bonn, 2006.

E-FOTO. **E-FOTO - Uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional Livre**. Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/>>. Acesso em: 2 fev. 2011.

ENGESAT. **Engesat Imagens de Satélite**. Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2011.

ESTEIO. **Esteio Engenharia e Aerolevanteamento S.A.**. Disponível em: <<http://www.esteio.com.br/>>. Acesso em: 16 fev. 2011.

FALAT, R. D. Perfilamento à Laser para Detecção de Construções Clandestinas e Determinação de Altura de Edificações. **XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**, Macaé, 2005.

FARIN G. **Curves and Surfaces for CAGD**. 5.ed. Estados Unidos: Morgan Kaufmann, 2001. 520p.

FEITOSA, R. Q. **Computer Vision I**. Disponível em: <<http://www.ele.puc-rio.br/~visao/Segmentation5.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

FISCHER, A.; KOLBE, T. H.; LANG, F.; CREMERS, A. B.; FÖRSTNER, W.; PLÜMER, L.; STEINHAGER, V. Extracting buildings from aerial images using hierarchical aggregation in 2D and 3D. **Computer Vision and Image Understanding**, v.72, Issue 2, p. 185-203, 1998.

FISCHLER M. A.; BOLLES, R. C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. **Comm. of the ACM**, v.24, p. 381-395, 1981.

FLAMANC, D.; MAILLET, G.; JIBRINI, H. 3D City Models: An Operational Approach Using Aerial Images and Cadastral Maps. **ISPRS PIA**, Munique, v.XXXIV, Parte 3/W8, p. 17-19, 2003.

FRÉDÉRICQUE, B.; DANIEL, S., BÉDARD, Y.; PAPANODITIS, N. Knowledge-Based Process Management to Populate Databases With 3D Multi-Representation of Buildings. **ISPRS Hannover Workshop**, Hannover, 2005.

FRÈRE D.; HENDRICKS, M.; VANDERKERCKHOVE, J.; MOONS, T.; VANGOOL, L. On the Reconstruction of Urban House Roofs From Aerial Images. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

FUCHS, F. Building Reconstruction in Urban Environment: A Graph-based

Approach. **III International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 2001.

GALVANIN, E. A. S. **Extração Automática de Contornos de Telhados de Edifícios em Um Modelo Digital de Elevação, Utilizando Inferência Bayesiana e Campos Aleatórios de Markov**. Presidente Prudente, 2007, 165p. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Digital Image Processing**. 3.ed. Estados Unidos: Prentice Wiley-Interscience, 2007. 976p.

GRÜN, A. Adaptive Least-Squares Correlation: a Powerful Image Matching Technique. **South Africa Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography**, p. 175-187, 1985

GRÜN, A.; BALTSAVIAS, E. High Precision Image Matching for Image Matching for Digital Terrain Model Generation. **Photogrammetria**, p. 97-112, 1987.

GÜLCH, E. Application of Semi-Automatic Building Acquisition. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

HAALA, N.; BRENNER, C. Interpretation of Urban Surface Models Using 2D Building Information. **Computer Vision and Image Understanding**, v.72, Issue 2, p. 204-214, 1998.

HALCON 9.3. **MVTec Hancon Documentation**. Disponível em: <<http://www.mvtec.com/download/documentation/documentation-9.0.html>>. Acesso em: 16 maio 2010.

HAPP, P. N.; FEITOSA, R. Q.; BENTES, C.; FARIAS, R. Uma Implementação Paralela Para Segmentação de Imagens de Alta Resolução em GPUs. **XV**

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011.

HARTIGAN, J. A.; WONG, M. A. K-means Clustering Algorithm. **Applied Statistics** **28**, p. 100-108, 1979.

HENRICSSON O.; BALTSAVIAS, E. 3-D Building Reconstruction With ARUBA: A Qualitative and Quantitative Evaluation. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

HIRSCHMÜLLER, H. Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 30, n.2, 2008.

HURSKAINEN, P.; PELLIKKA, P. Change Detection of Informal Settlements Using Multi-Temporal Aerial Photographs – The Case of Voi, Se-Kenya. **Proceedings of the 5th AARSE conference**, Nairobi, 2004.

ILWIS. **ILWIS GIS/ Remote Sensing Software**. Disponível em: <http://spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwisapp/point_interpolation.htm>. Acesso em: 22 jul. 2010.

INTERIMAGE. **InterIMAGE – Interpreting Images Freely**. Disponível em: <<http://www.lvc.ele.puc-rio.br/projects/interimage/index.html>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

IOVAN, C. Detection, Segmentation and Characterisation of Vegetation in High-Resolution Aerial Images For 3D City Modelling. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII, Parte B3a, p. 247-252, 2008.

IPP. **Instituto Pereira Passos**. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp>>. Acesso em: 7 ago. 2009.

JOHNSON, R. A.; WICHERN D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**.

1.ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 1998. 425p.

JUNG, E.; JEDYNAK, B.; GEMAN, D. Recognizing Buildings in Aerial Images. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

KASS, M.; WITKIN, A.; TERZOPOULOUS, D. Snakes: Active Contour Models. **International Journal of Computer Vision 1 (4)**, p. 321-331, 1988.

LÉCHERVY, Y.; LOUIS, C.; MONGA, O. Crestlines Contribution to the Automatic Building Extraction. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 6.ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc., 2007. 804p.

LIN, C.; NEVATIA, R. Building Detection and Description From a Single Intensity Image. **Computer Vision and Image Understanding 72(2)**, p. 101-121, 1998.

LINDER, W. **Digital Photogrammetry: A Practical Course**. 2.ed. Alemanha: Springer, 2006. 214p.

LIU, X.; CLARKE, K. Estimation of Residential Population Using High-Resolution Satellite Imagery. **International Symposium On Remote Sensing Of Urban Areas**, Istanbul, 2002.

LOODTS, J. From Large-Scale DTM Extraction to Feature Extraction. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

LOWE, D. G. Distinctive Image Features From Scale-Invariant Keypoints. **International Journal of Computer Vision**, p. 91-110, 2004.

MACHADO, A. M. L. **Extração Automática de Contornos de Edificações Utilizando Imagem Gerada por Câmara Digital de Pequeno Formato e Dados LIDAR**. Curitiba, 2006, 201p. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.

MASON, S.; BALTSAVIAS, E. Image-Based Reconstruction of Informal Settlements. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

MATLAB. **Morphological Fundamentals: Dilation and Erosion**. Disponível em: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/f18-12508.html>. Acesso em: 26 jul. 2010.

MAYUNGA, D. S. **Semi-automatic Building Extraction in Informal Settlements From High-resolution Satellite Imagery**. Fredericton, 2006, 313p. Tese de Doutorado - Geodesy and Geomatics Engineering, Universidade de New Brunswick.

MEYER-BRÖTZ, G.; SCHÜRMAN, J. **Methoden der Automatischen Zeichen Erkennung**. 1.ed. Alemanha: Akademie-Verlag, 1970. 154p.

MIKOLAJCZYK, K.; SCHMID, C. Scale & Affine Invariant Interest Point Detector. **International Journal of Computer Vision**, p. 63-86, 2004.

MIKOLAJCZYK, K.; SCHMID, C. A Performance Evaluation of Local Descriptors. **Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.27, Issue 10, p. 1615-1630, 2005.

MÜLLER, S.; ZAUM, D. W. Robust Building Detection in Aerial Images. **Proceedings of the ISPRS Workshop CMRT 2005**, Viena, v.XXXVI, Parte 3/W24, 2005.

MÜLLER, S. **Extraktion Baulich Geprägter Flächen aus**

Fernerkundungsdaten zur Qualitätssicherung Flächenhafter Geobasisdaten. Hannover, 2007, 109p. Tese de Doutorado - Instituto de Fotogrametria e Geoinformação, Universidade de Hannover.

MÜLLER, S.; HEIPKE, C. Object-Based Verification and Update of a Large-scale Topographic Database. **ISPRS Hannover Workshop 2009**, Hannover, v.XXXVIII, Partes 1-4-7/WS, 2009.

NEVATIA, R.; LIN, C.; HUERTAS, A. A System for Building Detection From Aerial Images. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

NEVATIA, R.; PRICE, K. Automatic and Interactive Modeling of Buildings in Urban Environnements From Aerial Images. **IEEE ICIP**, p. 525-528, 2002.

NIXON, M; AGUADO, A. **Feature Extraction & Image Processing**. 2.ed. Hungria: Academic Press, 2008. 424p.

OTTO, G. P; CHAU, T. K. W. Region-growing Algorithm for Matching of Terrain Images. **Image and Vision**, V. 7, N.2, p. 83-94, 1989.

PEARSON, J. J.; ODDO, L. A. Testbed for the Evaluation of Feature Extraction Techniques in a Time Constrained Environment. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de Imagens Digitais: Princípios, Algoritmos e Aplicações**. 1.ed. Brasil: Thompson, 2008. 508p.

POLIDORIO, A. M. **Deteção de Elementos da Paisagem Urbana em Imagens Aéreas Multiespectrais**. Presidente Prudente, 2007, 178p. Tese de Doutorado - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

RUSS, J. C. **The Image Processing Handbook**. 6.ed. Estados Unidos: CRC

Press, 2008. 885p.

RÜTHER, H.; MARTINE, H. M.; MTALO, E. G. Application of Snakes and Dynamic Programming Optimisation Technique in Modeling of Buildings in Informal Settlement Areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.56, Issue 4, p. 269-282, 2002.

SANTOS, D. R. **Extração Semi-Automática de Edificações com Análise no Modelo Numérico de Elevações**. Presidente Prudente, 2002, 150p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

SANTOS, D. R.; DALMOLIN, Q.; BASSO, M. A. Detecção Automática de Sombras em Imagens de Alta Resolução. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.12, n.1, p. 87-99, 2006.

SCHENK, T. **Digital Photogrammetry**. 1.ed., v.1. Estados Unidos: Terra Science, 1999. 424p.

SERRA, J. **Image Analysis and Mathematical Morphology**. 1.ed., v.1. Inglaterra: Academic Press, 1982. 610p.

SERRA, J. **Image Analysis and Mathematical Morphology: Theoretical Advances**. 1.ed., v.2. Inglaterra: Academic Press, 1988. 411p.

SHI, Z.; SHIBASAKI, R.; MARUI, S. Automated Building Extraction From Digital Stereo Imagery. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

SILVEIRA, M. T.; FEITOSA, R. Q.; JACOBSEN, K.; BRITO, J. L. N. S.; HECKEL, Y. A Hybrid Method for Stereo Image Matching. **The XXI congress ISPRS**, Pequim, v.XXXVII, Parte B1, p. 895-900, 2008.

SOHN, G.; DOWMAN, I. J. Extraction of Buildings From High Resolution

Satellite Data. **III International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 2001.

SOILLE, P. **Morphological Image Analysis: Principles and Applications**. 1.ed. Alemanha, Springer-Verlag, 1999, p. 170-171.

SOUZA, I. M. **Análise do Espaço Intra-urbano Para Estimativa Populacional Intercensitária Utilizando Dados Orbitais de Alta Resolução Espacial**. São José dos Campos, 2003, 92p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba.

SPREEUWERS, L.; SCHUTTE, K.; HOUKES, Z. A Model Driven Approach to Extract Buildings From Multi-View Aerial Imagery. **II International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images**, Ascona, 1997.

STELLA, U., MICHAELSEN, E. Semantic Modelling of Man-Made Objects by Production Nets. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

STOLLE, F. R.; HANSON, A. R.; JAYNES, C. O.; RISEMAN, E. M.; SCHULTZ, H. J. Scene Reconstruction Research - Towards an Automatic System. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

STRAT, T. M.; CLIMENSON, D. An Overview of DARPA's Research Program in Automatic Population of Geospatial Databases. In: **Automatic Extraction of Man-Made Objects From Aerial Space Images II**. 1.ed. Alemanha: Birkhäuser, 1997.

TAILLANDIER, F. Automatic Building Reconstruction from Cadastral Maps and Aerial Images. **Proceedings of the ISPRS Workshop CMRT 2005**, Viena, v.XXXVI, Partes I/3-W24, 2005.

THOMÁS, L. R. **Inferência Populacional Urbana Baseada no Volume de Edificações Residenciais Usando Imagens Ikonos-II e Dados LIDAR**. São José dos Campos, 2010, 108p. Tese de Doutorado - INPE.

TOURNAIRE, O.; PAPANODITIS, N.; LAFARGE, F. Rectangular Road Marking Detection With Marked Point Processes. **ISPRS PIA07**, Munique, 2007.

TRUCCO, E.; VERRI, A. **Introductory Techniques for 3-D Computer Vision**. 1.ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 1998, 343p.

WEIDNER, U. An Approach to Building Extraction From Digital Surface Models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 31, Parte B3, p. 924-929, 1996.

YAKIMOVSKY, Y. Scene Analysis Using a Semantic Base for Region Growing. **Report AIM-209 - Stanford University**, Stanford, 1973.

Apêndice A

Procedimentos preliminares e formato dos dados

Este apêndice detalha todos os procedimentos preliminares necessários para o funcionamento do protótipo utilizado nos experimentos, bem como apresenta o formato dos dados utilizados no protótipo desenvolvido.

A.1

Obtenção do MDS

A extração de um MDS através de métodos fotogramétricos convencionais, como, por exemplo, o LSM, pode ser executada por vários aplicativos *software* de fotogrametria. Nos experimentos descritos nesta tese utilizou-se o LPS 9.3 da Leica Geosystems. A seguir, serão apresentados os passos necessários à obtenção do MDS através do software LPS.

A.1.1

Criação do projeto

Um projeto fotogramétrico é o conjunto de imagens e dados necessários para a realização de um projeto fotogramétrico. O projeto envolve:

- Inserção de dados relativos à câmara, como coordenadas da marca fiducial e a distância focal calibrada;
- Determinação do sistema referência de coordenadas a utilizar; e
- Inserção das imagens fotogramétricas a serem utilizadas.

Nos experimentos, foi adotado o sistema de coordenadas WGS-84 com projeção UTM, zona 23 e hemisfério sul.

A.1.2 Orientação interior e exterior

A orientação interior e exterior, conforme visto no capítulo 3, têm como objetivo mapear o espaço-imagem no espaço-objeto (Brito & Coelho Filho, 2007). Primeiramente executa-se a orientação interior, através da medição das marcas fiduciais presentes em cada imagem. Em seguida, realiza-se a orientação exterior, medindo-se nas imagens os pontos de controle obtidos através de medições realizadas *in loco* com o auxílio de um aparelho de GPS de alta precisão. A figura A.2 exemplifica a medição de um ponto de controle no par estéreo.

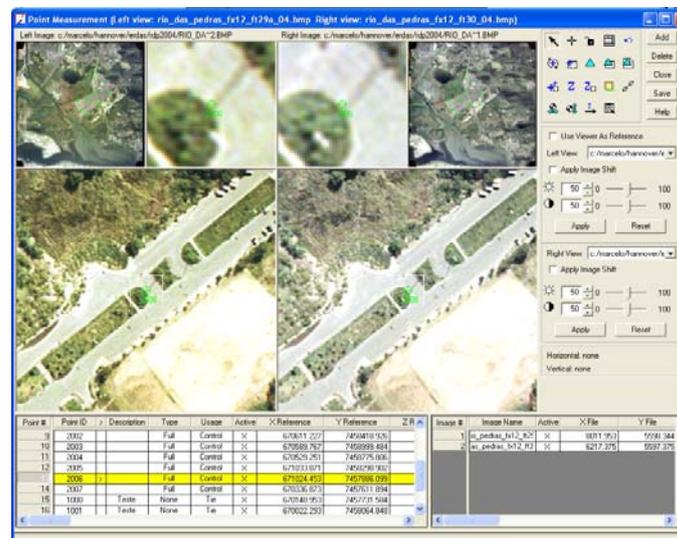


Figura A.1: Medição de pontos no LPS.

A extração interior e exterior somente deverão ser concluídas, quando os erros estiverem abaixo dos limiares aceitáveis.

A.1.3 Extração do MDS

Uma vez estabelecida a relação espaço-imagem e espaço-objeto, procede-se à extração automática do MDS. O LPS utiliza o método de LSM (Grün, 1985) com crescimento de regiões para a extração do MDS, utilizando os pontos de controle medidos como sementes. Um exemplo do produzido por este

procedimento pode ser visto na figura A.2.



Figura A.2: DSM extraído no LPS.

A extração automática do MDS abrange toda a área de sobreposição das imagens fotogramétricas. Entretanto, pode-se selecionar uma área de interesse manualmente no MDS extraído, através de ferramentas existentes no *software*. A área de interesse é um recorte do MDS que contém uma máscara indicando as células da grade do MDS que deverão ser desconsideradas. Normalmente, atribui-se o valor “0” para tal fim.

O resultado da extração do MDS no LPS é um arquivo no formato IMG, que é um formato proprietário da Leica Geosystems. Entretanto, o *software* permite que o resultado seja exportado no formato texto, através do utilitário de conversão de *pixels* para ASCII. Um exemplo do formato de texto de saída do LPS é apresentado a seguir:

```
F1 : c:/rdp /dtm_rdp_2004_1m.img
```

	X	Y	F1
			B1
	669917.849	7458907.708	0

669918.849	7458907.708	0
669919.849	7458907.708	0
669920.849	7458907.708	0
669921.849	7458907.708	0

A.2 Formato dos arquivos utilizados

Esta seção apresenta os formatos dos arquivos de entrada do protótipo criado para testar o modelo proposto. São 4 tipos de arquivos: MDS, dados do vôle, imagem rotulada e dados relativos à imagem rotulada.

A.2.1 Arquivo de MDS

O formato de arquivo de MDS utilizado é o formato binário, com um cabeçalho contendo informações dos limites e resolução da grade, e uma matriz com os valores altimétricos da grade, conforme visto na tabela A.1. O cabeçalho é destacado em amarelo.

Offset	Variável tipo	Descrição
0000	Double (8 bytes)	Limite da grade - X_i
0001	Double (8 bytes)	Limite da grade - Y_i
0002	Double (8 bytes)	Limite da grade - X_f
0003	Double (8 bytes)	Limite da grade - Y_f
0004	Double (8 bytes)	Resolução espacial em X
0005	Double (8 bytes)	Resolução espacial em Y
0006	Double (8 bytes)	Largura
0007	Double (8 bytes)	Altura
0008	Double (8 bytes)	Altura Z da posição da grade (0,0)
0009	Double (8 bytes)	Altura Z da posição da grade (1,0)
0010	Double (8 bytes)	Altura Z da posição da grade (2,0)
0011	Double (8 bytes)	Altura Z da posição da grade (3,0)
...

Tabela A.1: Formato do arquivo de MDS.

A.2.2 Arquivo de dados do vôo

O arquivo de dados de vôo é um arquivo texto no mesmo formato utilizado pelos módulos de Restituição Digital e Extração do Modelo digital de Elevações do E-FOTO e é apresentado a seguir:

```
A0_ESQUERDA
A1_ESQUERDA
A2_ESQUERDA
B0_ESQUERDA
B1_ESQUERDA
B2_ESQUERDA
A0_DIREITA
A1_DIREITA
A2_DIREITA
B0_DIREITA
B1_DIREITA
B2_DIREITA
DISTÂNCIA_FOCAL
ALTITUDE_DE_VÔO
ESCALA
FOTOBASE
AERO_BASE
Xo_ESQUERDA
Yo_ESQUERDA
Zo_ESQUERDA
PHI_ESQUERDA
OMEGA_ESQUERDA
KAPPA_ESQUERDA
Xo_DIREITA
Yo_DIREITA
Zo_DIREITA
PHI_DIREITA
OMEGA_DIREITA
KAPPA_DIREITA
e0
n0
```

A.2.3 Arquivo de imagem rotulada

O arquivo de imagem rotulada apresenta-se no formato binário, e possui um cabeçalho no início e imagem ao final. O cabeçalho contém informações referentes à altura, largura e à quantidade de segmentos presentes na imagem, enquanto que a imagem contém o código do rótulo para cada posição. A tabela A.2 apresenta o formato do arquivo de imagem rotulada utilizado, sendo destacado em amarelo o cabeçalho do arquivo.

Offset	Variável tipo	Descrição
0000	Int (4 bytes)	Largura da imagem rotulada.
0001	Int (4 bytes)	Altura da imagem rotulada.
0002	Int (4 bytes)	Número de rótulos
0003	Int (4 bytes)	Rótulo para a posição (0,0).
0004	Int (4 bytes)	Rótulo para a posição (1,0).
0005	Int (4 bytes)	Rótulo para a posição (2,0).
0006	Int (4 bytes)	Rótulo para a posição (3,0).
...
(largura x altura) - 1	Int (4 bytes)	Rótulo para a posição (largura-1, altura-1).

Tabela A.2: Formato do arquivo de imagem rotulada do protótipo.

A.2.4

Arquivo de dados relativos à imagem rotulada

O arquivo de dados relativos à imagem rotulada é um arquivo binário, contendo um cabeçalho com o total de rótulos existentes e o restante do arquivo com informações referentes aos atributos de cada segmento, disposta de forma sequencial e igualmente espaçada de 25 campos, conforme visto na tabela A.3.

Offset	Variável tipo	Descrição
0000	Double (8 bytes)	Número de rótulos.
0001	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Phy
0002	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Ra
0003	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Rb
0004	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Área
0005	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Cx
0006	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Cy
0007	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Perímetro
0008	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Compacidade
0009	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Anisometria
0010	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Robustez
0011	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Fator de estrutura
0012	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Momento M11
0013	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Momento M20
0014	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Momento M02
0015	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Inércia Ia
0016	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Inércia Ib
0017	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Retângulo envoltório Xi
0018	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Retângulo envoltório Yi
0019	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Retângulo envoltório Xf
0020	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Retângulo envoltório Xf
0021	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Retangularidade
0022	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Arredondamento
0023	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Lados
0024	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Reservado
0025	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Reservado
0026	Double (8 bytes)	Segmento 2 - Atributo: Phy
0027	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Ra
0028	Double (8 bytes)	Segmento 1 - Atributo: Rb
...

Tabela A.3: Formato do arquivo de dados relativos à imagem rotulada do protótipo.

Apêndice B

Os Segmentadores Utilizados

Nos experimentos realizados nesta Tese, foram utilizados dois algoritmos de segmentação: o primeiro segmentador utilizado é baseado no algoritmo de Baatz & Schäpe (Baatz & Schäpe, 2000; Happ et al., 2011) e o segundo, na técnica de *Watershed* (Beucher & Meyer, 1993). O programa que implementa o segmentador de Baatz & Schäpe e foi utilizado em nossos experimentos faz parte da plataforma InterIMAGE (InterIMAGE, 2010), enquanto que o segmentador baseado em *Watershed* foi implementado utilizando-se a ferramenta Matlab.

B.1

Segmentador Baatz & Schäpe

O segmentador proposto por Baatz e Schäpe (2000) é um segmentador baseado em Crescimento de Regiões, onde todos os *pixels* inicialmente são considerados sementes ou segmentos. A cada iteração, calcula-se a heterogeneidade dos segmentos adjacentes e a homogeneidade do segmento que resultaria da fusão destes. O custo de fusão é a diferença entre a heterogeneidade e a homogeneidade calculada e deve ser inferior a um certo limiar, chamado de escala, para que esta fusão ocorra. O processo termina quando mais nenhuma fusão ocorrer.

O segmentador de Baatz & Schäpe utilizado foi o do projeto InterIMAGE (2010) e modificado por Happ et al. (2011). O custo f de uma fusão entre segmentos adjacentes (*merge*) para formar um segmento único é definido por:

$$f = w_{cor}h_{cor} + (1 - w_{cor})h_{forma} \quad \text{B.1}$$

onde:

- w_{cor} é o peso de cor em relação à forma;
- h_{cor} é a heterogeneidade espectral; e
- h_{forma} é a heterogeneidade espacial.

A heterogeneidade espectral é dada pela equação B.2.

$$h_{cor} = \sum_c w_c \left[A_{Obj12} \cdot \sigma_c^{Obj12} - \left(A_{Obj1} \cdot \sigma_c^{Obj1} + A_{Obj2} \cdot \sigma_c^{Obj2} \right) \right] \quad B.2$$

onde:

- *Obj1* é o segmento selecionado para crescer;
- *Obj2* é um segmento adjacente;
- *Obj12* é o segmento resultante da fusão entre *Obj1* e *Obj2*;
- *c* refere-se a cada banda da imagem;
- W_c é o peso associado a cada banda da imagem;
- *A* é a área do segmento; e
- σ é o desvio padrão do segmento.

A heterogeneidade espacial (equação B.3) é constituída por duas componentes de forma: uma referente à compacidade (h_{comp}) e outra relativa à suavidade (h_{svd}).

$$h_{forma} = w_{comp} \cdot h_{comp} + (1 - w_{comp}) \cdot h_{svd} \quad B.3$$

onde:

$$comp = \frac{p}{\sqrt{A}} \quad B.4$$

$$svd = \frac{p}{pbox} \quad B.5$$

$$h_{comp} = A_{Obj12} \cdot comp_{Obj12} - \left(A_{Obj1} \cdot comp_{Obj1} + A_{Obj2} \cdot comp_{Obj2} \right) \quad B.6$$

$$h_{svd} = A_{Obj12} \cdot svd_{Obj12} - \left(A_{Obj1} \cdot svd_{Obj1} + A_{Obj2} \cdot svd_{Obj2} \right) \quad B.7$$

sendo:

- *p* o perímetro do segmento; e

- *pbox* o retângulo envoltório do segmento.

O segmentador recebe como parâmetros de entrada:

- Escala (S), que define o limiar superior de aceitação do valor do custo de função para que haja fusão entre segmentos adjacentes;
- O peso da cor em relação à forma (w_{cor}).
- A relação entre os atributos espaciais. (w_{comp}).
- O peso relativo entre as bandas da imagem. (w_c). Em imagens pancromáticas, assumem-se os valores 0,3; 0,3 e 0,4.

B.2 Segmentador *Watershed*

O segmentador que utiliza a técnica de *Watershed* utilizado nos experimentos foi desenvolvido utilizando-se o *software* Matlab (Feitosa, 2007).

A função “*Watershed*” do Matlab implementa a técnica de segmentação conhecida como “divisão de águas”, ou mais comumente pelo próprio termo inglês *Watershed*.

Antes da aplicação do algoritmo básico de *Watershed*, a imagem é geralmente convertida para uma representação bi dimensional que é, por seu turno, interpretada como uma superfície topográfica, em que as intensidades de cada pixel correspondem à elevação em cada ponto.

Simula-se uma “inundação” desta superfície, como se água penetrasse a partir dos mínimos locais. Formam-se, assim, ao longo do processo *bacias de retenção*, cuja área se expande gradativamente à medida que mais água emana dos mínimos locais. As linhas que delimitam os segmentos são determinadas pelos pontos em que bacias adjacentes se conectariam formando uma única bacia resultante da união de ambas as regiões.

O primeiro passo do programa desenvolvido é preparar a imagem para o segmentador *Watershed* do Matlab. Consiste em aplicar a cada uma das bandas da imagem de entrada um filtro de suavização Gaussiano com desvio padrão S , o primeiro parâmetro de entrada do algoritmo.

Em seguida, calcula-se o módulo do gradiente de cada uma das bandas previamente suavizadas.

Tem-se a esta altura um resultado para cada banda da imagem de entrada.

Possuindo a imagem mais do que 1 banda, executam-se os seguintes passos:

- a) A magnitude do gradiente da cada banda b é multiplicada por um peso p_b . Os pesos são parâmetros de entrada do algoritmo que pretendem expressar a importância relativa de cada banda no processo de segmentação. Os pesos devem ser não negativos e somarem 1. Desta forma, para uma imagem com B bandas, requerer-se-ão $B-1$ pesos.
- b) O resultado em B bandas produzido pelo passo anterior, é convertido em uma única banda, tomando-se para cada coordenada (x,y) o valor máximo de todas as bandas.

Em nossos experimentos foram utilizadas imagens monocromáticas, de modo que os passos a) e b) acima não se aplicam.

A imagem gerada possui tipicamente diversos mínimos locais. Em decorrência disso, a aplicação do algoritmo básico de *Watershed* diretamente sobre esta imagem resultará em inúmeros pequenos segmentos, efeito conhecido por "super-segmentação" e ilustrado na figura B.2.

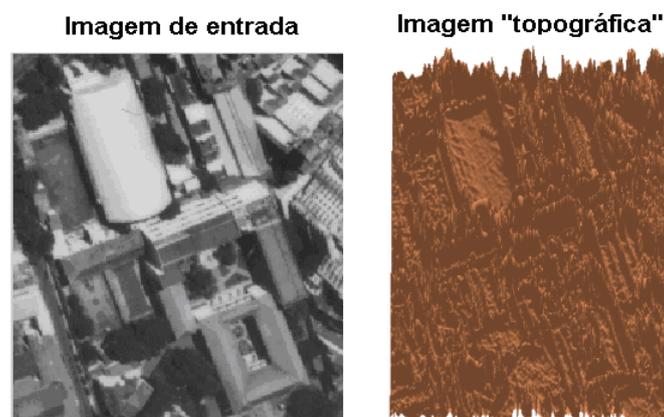


Figura B.1: Detecção de contornos na imagem original e imagem "topográfica".

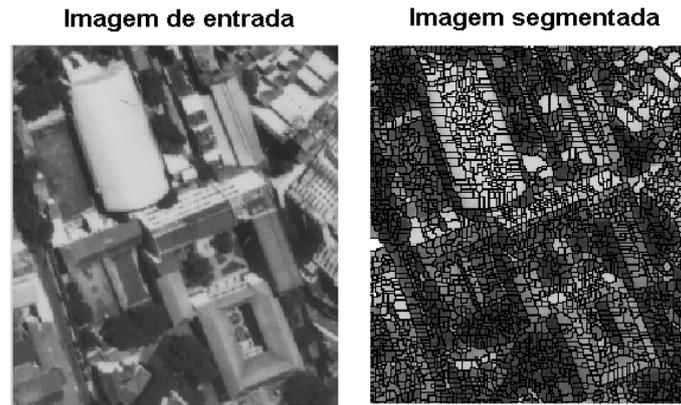


Figura B.2: Super-segmentação da imagem.

De forma a evitar este problema, antes de se aplicar o *Watershed*, submete-se a imagem topográfica contendo os máximos das magnitudes dos gradientes, um artifício que preenche as bacias com profundidade inferior a certo limiar (T), também fornecido como parâmetro de entrada. Este expediente elimina os mínimos locais pouco profundos da imagem “topográfica”, o que acaba por reduzir o número e aumentando a área dos segmentos produzidos no passo seguinte pelo *Watershed*. Este procedimento é chamado de Transformada H-mínima (Soille, 1999).

A função “*imhmin*” do Matlab é utilizada para tal fim, recebendo como parâmetro um limiar de profundidade para o preenchimento dos mínimos locais. A figura B.3 apresenta um exemplo do uso desta função para o preenchimento dos mínimos locais, ao longo de uma linha de imagem “topográfica”. As linhas verticais marcam os limites dos segmentos detectados pelo *Watershed* com e sem a supressão dos mínimos locais pouco significativos. Observe neste exemplo que após a supressão dos mínimos, três segmentos da imagem original foram unidos em um só.

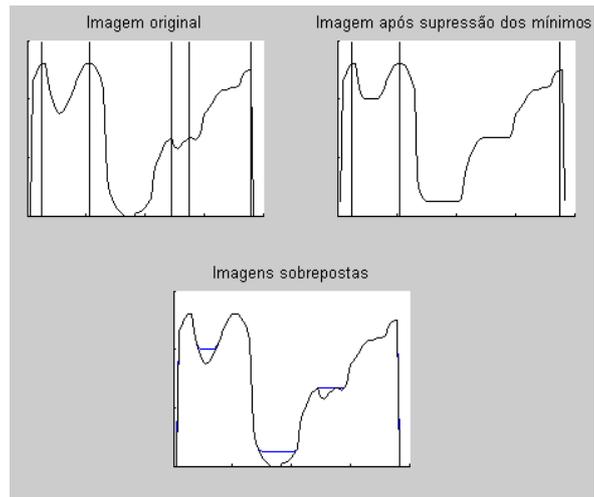


Figura B.3: Supressão dos mínimos.

A figura B.4 apresenta o resultado da supressão dos mínimos aplicada a uma imagem. A imagem da esquerda apresenta uma sobreposição da imagem original e os limites dos segmentos (representados pelas linhas em vermelho). A imagem da direita apresenta a imagem rotulada correspondente, onde cada segmento é representado por uma cor.

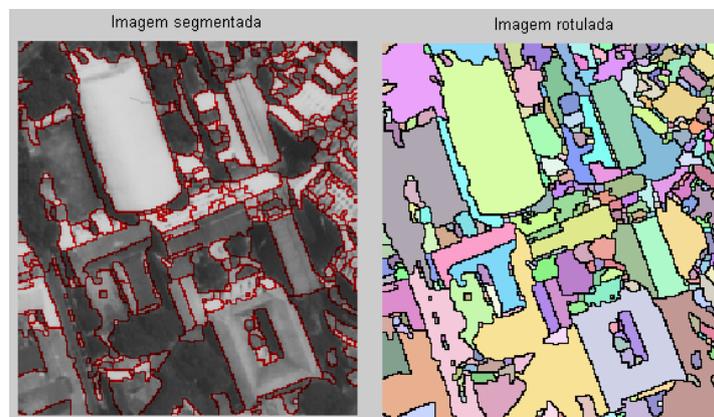


Figura B.4: Segmentação *Watershed* resultante. Imagem segmentada (esquerda) e imagem rotulada correspondente (direita).

O segmentador tem como parâmetros de ajuste:

- O desvio padrão do filtro de suavização Gaussiano (S); e
- O limiar para a supressão dos mínimos (T), variando de 0 a 1.

O código-fonte em Matlab do programa segmentador *Watershed* é apresentado a seguir:

```
function L=watersheddemo(filename,S,T);

% Entradas
% filename: Uma string contendo o nome do arquivo;
% S: desvio padrão de um filtro Gaussiano de suavização
% aplicada a todas as bandas; e
% T: Um limiar para os marcadores - os vales do gradiente não
% mais profundos que T, são eliminados.
%
% Saida
% L: A imagem rotulada de saída.

if T>1 | T<=0
    error('Threshold must be in the interval 0<T<1');
end

I=im2double(imread(filename));

if size(I,3)~=1;
    I = rgb2gray(I);
end

h=fspecial('gaussian', round(5*S),S);
Ismoothed=imfilter(I,h,'symmetric');
clear I
h=fspecial('sobel');
Gy=imfilter(Ismoothed,h,'symmetric');
Gx=imfilter(Ismoothed,h,'symmetric');
clear Ismoothed
J=sqrt(Gy.^2+Gx.^2);
clear Gx Gy
J=imhmin(J,T);
L=watershed(J);
```

Apêndice C

Informações adicionais

O Apêndice C apresenta os resultados da orientação interior e exterior para cada vôo utilizado nos experimentos e descreve como foi gerado o MDSr.

C.1

Relatório da fototriangulação do vôo de 2000

Imagem esquerda: ID = 1
Imagem direita: ID = 2

Orientação interior

Coefficientes da transformação afim de pixels para filme (milímetros):

Img	A0	A1	A2	B0	B1	B2
1	-118,6985	0,042009	0,000111	117,6436	0,000126	-0,042309
2	-118,5806	0,042001	0,000030	117,2395	0,000047	-0,042299

Parâmetros das fotos:

Img	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	301,3870	0,1020	-0,0960
2	301,3870	0,1020	-0,0960

Orientação exterior:

Img	Xo	Yo	Zo	OMEGA	PHI	KAPPA
1	670378,3749	7458393,8043	2592,1441	-0,4591	0,2604	0,2438
1	671109,7891	7458371,0815	2586,0935	-0,3348	1,2577	-0,1508

Resíduos dos pontos de controle:

Point ID	rX	rY	rZ
2000	-0,1990	0,4153	0,1345
2001	-0,1504	0,3160	2,0608
2002	0,3224	-0,5656	-0,5856
2003	0,2446	0,1888	-0,3162
2004	-0,2298	-0,1939	1,6854
2005	-0,1906	0,1362	-4,5509
2006	1,0397	-1,3977	-2,8187
2007	0,9409	1,6380	4,2433

aX	aY	aZ
0,2222	0,0671	-0,0184
mX	mY	mZ
0,5340	0,8155	2,6031

C.2 Relatório da fototriangulação do voo de 2004

Imagem esquerda: ID = 1

Imagem direita: ID = 2

Orientação interior

Coefficientes da transformação afim de pixels para filme (mimímetros):

Img	A0	A1	A2	B0	B1	B2
1	-132,3890	0,021000	-0,000061	117,2909	-0,000048	-0,021147
2	-130,0034	0,021001	-0,000011	115,5789	-0,000001	-0,021144

Parâmetros das fotos:

Img	f (mm)	xo (mm)	yo (mm)
1	151,9800	0,0000	0,0000
2	151,9800	0,0000	0,0000

Orientação exterior:

Img	Xo	Yo	Zo	OMEGA	PHI	KAPPA
1	670067,8740	7457900,0460	2689,7950	-0,0037	-0,0114	0,0146
1	670767,8215	7457896,2795	2690,4564	0,0013	-0,0030	0,0224

Resíduos dos pontos de controle:

Point ID	rX	rY	rZ
2000	-0,8022	0,6709	-1,1431
2001	-0,5271	1,0430	-0,5101
2002	0,8952	-1,4275	0,2319
2003	0,2961	-1,2207	2,3530
2004	0,0512	-0,2218	0,5142
2005	0,1712	1,6552	-0,3782
2006	-0,5056	-0,4713	-0,2101
2007	0,4311	-1,1152	-0,8471

aX	aY	aZ
0,0012	-0,1359	0,0013
mX	mY	mZ
0,5343	1,0794	1,0202

C.3 Obtenção do MDSr

Os dados de referência foram obtidos através da restituição fotogramétrica do topo de todas as edificações localizadas nas 5 regiões selecionadas da comunidade de Rio das Pedras, conforme mostrado no capítulo 5. Para cada edificação foi gerado um polígono 3D contendo os contornos do topo dessa edificação. Em seguida, criaram-se duas grades vazias, com resolução espacial de 1 metro e localizadas espacialmente sobre a área de estudo. Uma das grades é o MDSr e a outra a imagem rotulada relativa a este MDSr. A partir dessas grades,

foi feita uma varredura para cada posição X, Y , de forma a verificar se esta posição espacial está contida dentro de algum polígono 3D medido. Em caso afirmativo, atribui-se a esta posição no MDSr a média aritmética da coordenada Z dos pontos dos vértices do polígono, uma vez que considerou-se para os assentamentos informais brasileiros a altura do topo das habitações é constante, e o rótulo desse polígono na imagem rotulada correspondente. As posições que contém valor de $Z=0$ e o rótulo igual a 0 são regiões onde não possuem ou não foram restituídas quaisquer habitações.

De forma a avaliar se os telhados das habitações da área de testes são realmente planos, foi calculada a inclinação de cada telhado restituído através da diferença da altura mínima e máxima dos vértices do polígono que representa esse telhado. Então, calculou-se a média e o desvio padrão dos valores das diferenças de todos os telhados, conforme mostra a tabela C.1.

Vão	Total de polígonos	Média das diferenças (m)	Desvio padrão das diferenças (m)
2000	1802	0,48	0,75
2004	1756	0,51	0,80

Tabela C.1: Avaliação da inclinação dos telhados das edificações restituídas.

Assim, comprova-se que a maioria dos telhados das habitações da área de testes utilizada são de fato planos.

Uma vez constatado que os telhados são planos, realizou-se um segundo teste de forma a avaliar a distorção geométrica encontrada nos topos de edificações de uma imagem em relação ao seu homólogo na outra imagem do par estereoscópico. Para isso, projetou-se cada polígono restituído no espaço-objeto, obtendo-se para cada ponto desse polígono um par de pontos no espaço-imagem (PLx, PLy e PRx, PRy). Então, calcularam-se as distâncias em *pixels* de cada par de pontos homólogos do polígono da seguinte maneira:

$$dx = | PLx - PRx |$$

$$dy = | PLy - PRy |$$

As distorções associadas a cada polígono são calculadas subtraindo-se o valor máximo de cada distância pelo valor mínimo correspondente. Desta forma:

$$dist_x = \max(dx) - \min(dx)$$

$$dist_y = \max(dy) - \min(dy)$$

A tabela C.2 apresenta os resultados da avaliação das distorções geométricas dos topos de edificações de uma imagem do par estéreo em relação a outra.

Vôo	Total de polígonos	Média das distorções em x (<i>pixels</i>)	Desvio padrão das distorções em x (<i>pixels</i>)	Média das distorções em y (<i>pixels</i>)	Desvio padrão das distorções em y (<i>pixels</i>)
2000	1802	0,86	0,64	0,71	0,47
2004	1756	0,94	0,71	0,70	0,48

Tabela C.2: Avaliação das distorções geométricas dos telhados das edificações restituídas.

Desta forma, conclui-se que as distorções geométricas encontradas nos topos das edificações restituídas é de aproximadamente 1 *pixel* para cada direção, viabilizando assim o modelo de correlação de regiões proposto. Caso as diferenças geométricas de um par sejam significativas, as imagens deverão ser normalizadas (capítulo 3) de forma a reduzir essas diferenças.