

MONORESTITUIÇÃO TRIDIMENSIONAL DE AEROFOTOS DIGITAIS DE PEQUENO FORMATO E DADOS DE LASER SCANNER

Edson A. Mitishita¹
Álvaro M.L. Machado²
Glauber A. Gonçalves³
Ayman F. Habib⁴

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – mitishita@ufpr.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – alvaroml@ufpr.br

³ Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – glauberac@ufpr.br

⁴ Geomatics Engineering – Faculty of Engineering - University of Calgary – habib@geomatics.ucalgary.ca

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho a metodologia usada e resultados obtidos de mapeamento fotogramétrico tridimensional vetorial apoiado em Monorestituição, a partir de imagens aéreas digitais obtidas de câmara de pequeno formato e dados altimétricos provenientes de sistema *laser scanner*. Utilizou-se de imagens digitais, provenientes de um recobrimento aéreo realizado com câmara digital de pequeno formato modelo Sony DSC-F717, resolução de 5,2 Mbytes, CCD de 2560 x 1920 pixel. O recobrimento aéreo foi realizado numa altura aproximada de vôo de 1650,0 m, resultando pixel com resolução aproximada no terreno de 30 cm. Os dados altimétricos foram provenientes de um levantamento por sistema *laser scanner*, na altura de vôo de 1000,0 m, com resolução aproximada de 0,5 m, obtidos do Sistema OPTECH/INS GPS APPLANIX, de propriedade do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC – UFPR. Apresentam-se os procedimentos e algoritmos matemáticos e técnicas de interpolação empregadas para a extração de feições ao nível do solo e de edifícios que foram implementados no programa computacional Monorestituídor Digital, desenvolvido no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Pontos de apoio planialtimétricos foram utilizados para a orientação exterior das imagens fotogramétricas digitais. Através da comparação pontual de entidades mapeadas no sistema Monorestituídor e restituição estereofotogramétrica tridimensional, realizada com cobertura convencional métrica (câmara analógica WILD RC-10 e escala de 1/6000) são obtidas as exatidões alcançadas na metodologia apresentada neste trabalho.

Palavras-chave: Monorestituição 3D, Laser Scanner, Câmara Digital de Baixo Custo

3D MONOCULAR RESTITUTION APPLIED TO NON-METRIC DIGITAL AIRPHOTO AND LASER SCANNER DATA

ABSTRACT

This paper shows the development of the methodology used and the results obtained from 3D photogrammetric vector mapping using the monocular restitution; digital aerial images obtained from low cost small format camera and data set height points deriving from laser scanner system. The digital aerial images were provided by an aerial survey performed with digital small format Sony camera, model DSC-F717, resolution of 5.2 Mbytes, CCD dimension of the 2560 x 1920 "pixel". The air survey was performed in an approximate height flight of 1650.0 m. The pixel resolution in terrain is approximately 30 cm. The height data set points were derived from laser scanner air survey with 1000.0 m of height flight. The resolution of the pixel size in terrain is approximately 50 cm. The System used is OPTECH/INS GPS APPLANIX, property of the Technology Institute for the Development – LACTEC – UFPR. This paper presents the height interpolation procedures and mathematical algorithms used for the features extraction with and without height. The procedures were implemented in the computational program (Digital Monoplotting) that was developed in the Graduation Program Course in Geodesic Sciences in the UFPR. Control points were used to determinate the exterior orientation of the images. The three-dimensional coordinates of points of the entities were compared. The points were derived from the vector mappings produced of the 3D monocular restitution and the conventional 3D stereo restitution performed in the

Zeiss Planicomp with the metric conventional photos (camera WILD RC-10 and scale of 1/6000). The paper presents the results performed in the comparisons.

Keywords: 3D Monorestitution, Laser Scanner, Low Cost Digital Camera.

1. INTRODUÇÃO

As câmaras digitais de pequeno formato têm-se transformado, nos dias atuais, em instrumentos populares e com resoluções espaciais similares às tradicionais câmaras baseadas em filme fotográfico. A utilização deste sensor em projetos de engenharia que empregam imagens terrestres ou aéreas, para a obtenção de informações métricas, tende a ser crescente em aplicações fotogramétricas. Isto se deve ao contínuo aumento da resolução do elemento sensor baseado em CCD (*Charged Coupled Device*) ou CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*), com diminuição do custo de aquisição e maior estabilidade geométrica da imagem. Verifica-se também um constante desenvolvimento de procedimentos fotogramétricos analíticos, baseados em imagens digitais, acarretando uma maior utilização prática da Fotogrametria.

A utilização de câmaras digitais não convencionais nas aplicações fotogramétricas exige um procedimento acurado de calibração de câmaras para determinar os parâmetros definidores da geometria projetiva (HABIB et al., 2003).

A informação altimétrica da superfície terrestre, proveniente de varredura a laser, melhorou a exatidão do modelo digital da superfície (DSM) e vem proporcionando o desenvolvimento e aprimoramento de novas técnicas fotogramétricas de obtenção de informações espaciais da superfície terrestre, ver ACKERMANN (1996); BALTSAVIAS (1999).

O desenvolvimento de procedimentos fotogramétricos de obtenção de informações da superfície terrestre que apresentem facilidades e menor dependência operacional qualificada e baixo custo no processo produtivo está sendo cada vez mais requisitado nos dias atuais.

Apresenta-se neste trabalho o desenvolvimento de metodologia e resultados obtidos de mapeamento fotogramétrico tridimensional vetorial apoiado em Monorestituição 3D, a partir de imagens aéreas digitais obtidas de câmara de pequeno formato e dados altimétricos provenientes de sistema *laser scanner*. Utilizou-se uma imagem digital proveniente de um recobrimento aéreo realizado com câmara digital de pequeno formato modelo Sony DSC-F717, resolução de 5,2 Mbytes, CCD de 2560 x 1920 pixel. O recobrimento aéreo foi realizado numa altura aproximada de vôo de 1650 m, resultando pixel com resolução aproximada no terreno de 30 cm.



Figura 01 – Imagem aérea tomada com a câmara Sony empregada nesta pesquisa

O modelo digital da superfície (DSM) foi proveniente de um levantamento por sistema *laser scanner*, na altura de vôo de 1000,00 metros, com resolução aproximada de 0,5 m, obtidos do Sistema OPTECH/INS GPS APPLANIX, de propriedade do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC – UFPR.

Empregou-se também, um recobrimento aéreo realizado com câmara convencional WILD RC-10 na escala de 1/6000, para a obtenção de pontos de apoio e verificações de exatidões obtidas na metodologia proposta.

2. ÁREA TESTE

Uma imagem digital que recobre a região do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná foi utilizada nesta pesquisa, ver figura 01. Esta imagem faz parte do recobrimento aéreo realizado pela Empresa AGRITEC Agrimensura e Aerofotogrametria S.A. em julho de 2003. Foi empregada uma câmara digital de pequeno formato Sony DSC-F717, resolução de 5.2 Mbytes, CCD de 2520 x 1960 "pixels". A cobertura aérea foi feita na altura de vôo aproximada de 800 metros, resultando "pixel" com resolução espacial no terreno de 30 centímetros.

Levando-se em conta as características das edificações, pode-se subdividir a imagem em duas regiões distintas. Na primeira, no lado esquerdo, tem-se parte de um bairro residencial, onde as edificações são menores e próximas umas das outras. Na segunda, na parte central e lado direito, tem-se edificações maiores e com maior separação entre elas. Esta subdivisão da imagem em duas principais regiões será melhor discutida nos capítulos posteriores e se deu somente para fins de análise de exatidões obtidas no experimento realizado.

3. PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA CÂMARA DIGITAL

Os parâmetros de orientação interior da câmara digital Sony DSC-F717 foram determinados com três calibrações utilizando informações de três datas diferentes. Foram empregadas as mesmas condições operacionais e técnicas para a tomada de imagens do campo de prova existente na Universidade Federal do Paraná – Centro Politécnico. Analisaram-se as condições de estabilidade na determinação destes parâmetros para um determinado período de tempo de utilização da câmara. Os valores empregados nesta pesquisa são apresentados no quadro 1. Outras informações sobre as calibrações realizadas e estabilidade dos parâmetros de orientação interior podem ser encontradas em MACHADO et al. (2003), HABIB et al. (2003), e HABIB et al. (2002).

Quadro 1 – Parâmetros Geométricos da Câmara

Distância Focal Calibrada e Parâmetros de Distorção Radial e Descentrada	
Parâmetros	Valores Determinados
c'	10,082 mm
x_o	-0,253 mm
y_o	-0,151 mm
k_1	-2,18915186E-03 mm ⁻²
k_2	2,75934941E-05 mm ⁻⁴
k_3	0,000 mm ⁻⁶
p_1	-1,47185370E-04 mm ⁻¹
p_2	-1,42394475E-05 mm ⁻¹

4. DADOS LASER SCANNER

Um levantamento laser scanner da região do Centro Politécnico que recobriu uma área aproximada de 7,2 Km² foi realizado na altura de vôo de 1650,0 m, com resolução aproximada de 0,5 m, obtidos do Sistema OPTECH/INS GPS APPLANIX, de propriedade do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC – UFPR.

Utilizou-se neste trabalho uma nuvem de pontos com coordenadas X, Y, Z, proveniente do último pulso. Delimitou-se somente a área coberta pela imagem digital, resultando um conjunto de aproximadamente 800 mil pontos. Realizou-se o processamento destes pontos com o objetivo de selecionar somente aqueles que identificassem as bordas das edificações contidas na imagem. O algoritmo matemático desenvolvido realizou o processamento em duas etapas. Na primeira, todos os pontos pertencentes a uma faixa de varredura laser foram filtrados com a técnica de simplificação de poligonais com base no algoritmo de Douglas-Peucker, conforme mostrado em DOUGLAS & PEUCKER (1973). Na segunda etapa, cada um dos pontos contidos num perfil foi analisado com objetivo de selecionar somente aqueles que apresentassem uma diferença de altura maior que um limiar fornecido, com relação ao ponto anterior ou ao posterior, conforme apresentado em AXELSSON (1998).

A figura 02 mostra os resultados alcançados com a aplicação da metodologia proposta na região de grandes edificações. Verifica-se que o algoritmo matemático proposto conseguiu evidenciar de forma satisfatória os pontos laser existentes nas bordas das edificações principais. Entretanto, apresenta a desvantagem de não excluir pontos definidores da borda das principais árvores existentes na imagem.

A figura 03 mostra os resultados da aplicação da metodologia na região residencial de pequenas edificações. Neste caso verifica-se um menor desempenho do algoritmo proposto, pois devido ao pequeno espaço que separa uma edificação da outra e a resolução do sistema laser, o algoritmo deixa de apresentar alguns pontos de borda desejáveis. Por outro lado, ao se diminuir o limiar, outras bordas não desejadas são selecionadas.

Do conjunto de 800 mil pontos provenientes da varredura laser e existentes na região contida na imagem foram selecionados aproximadamente 10% de pontos definidores de bordas das edificações.



Figura 02 – Mostra os pontos laser scanner selecionados na região de grandes edificações



Figura 03 – Mostra os pontos laser scanner selecionados na região de pequenas edificações

5. DETERMINAÇÃO DE PONTOS DE APOIO E VERIFICAÇÃO

Quinze pontos de apoio e setenta pontos de verificação em forma de detalhes pontuais foram identificáveis em aerofotos tomadas com câmara aerofotogramétrica. As suas coordenadas, no referencial geodésico, foram determinadas a partir de observações realizadas em modelos fotogramétricos previamente orientados no Sistema Analítico Zeiss Planicom C-100, pertencente ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada em julho de 2000 na escala de 1/6000. Empregou-se uma câmara métrica WILD RC-10 com distância focal nominal igual a 153,000 mm. Os modelos contam com pontos fotogramétricos artificiais (PUG). As suas coordenadas foram determinadas por

aerotriangulação de ajustamento simultâneo de modelos. Considerou-se neste trabalho que as coordenadas dos pontos de apoio e pontos de verificação provenientes da leitura de modelos fotogramétricos são isentas de erros para serem tomadas como base de verificação dos trabalhos realizados com a integração de dados *laser scanner* e aerofotos digitais de pequeno formato.

6. TRANSFORMAÇÕES ENTRE REFERENCIAIS FOTOGAMÉTRICOS E GEODÉSICOS

O arquivo vetorial que contém os contornos das edificações é obtido pela digitalização monocular da imagem, utilizando o sistema de CAD (*computer aided design*) MicroStation PC. Aplicando-se transformações matemáticas entre os referenciais fotogramétricos e geodésicos envolvidos procede-se à retificação do arquivo vetorial gerado na digitalização. O modelo matemático fundamental realiza a transformação de coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) , de pontos observados na imagem, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L) , utilizando-se das equações de colinearidade inversa (01). Maiores detalhes sobre esta transformação podem ser vistos em MAKAROVIC (1973) e MITISHITA (1997).

$$\begin{aligned}
 X_L &= X_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{11} x_p + m_{21} y_p + m_{31} c}{m_{13} x_p + m_{23} y_p + m_{33} c} \\
 Y_L &= Y_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{12} x_p + m_{22} y_p + m_{32} c}{m_{13} x_p + m_{23} y_p + m_{33} c} \\
 x_f &= a.x_g + b.y_g + e \\
 y_f &= c.x_g + d.y_g + f \\
 x_p &= x_f - x_o - \Delta r(x_f - x_o) - \Delta dx \\
 y_p &= y_f - y_o - \Delta r(y_f - y_o) - \Delta dy \\
 \Delta r &= (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\
 \Delta dx &= P_1 (r^2 + 2(x_f - x_o)^2) + 2P_2 (x_f - x_o)(y_f - y_o) \\
 \Delta dy &= 2P_1 (x_f - x_o)(y_f - y_o) + P_2 (r^2 + 2(y_f - y_o)^2) \\
 r^2 &= (x_f - x_o)^2 + (y_f - y_o)^2
 \end{aligned} \tag{01}$$

onde

$(x_g, y_g)^T$ = Coordenadas no referencial gráfico;

$(x_f, y_f)^T$ = Coordenadas de pontos no referencial de "imagem";

$(x_p, y_p)^T$ = Coordenadas de pontos no referencial fotogramétrico;

(a, b, c, d, e, f) = Parâmetros da transformação afim geral no plano;

(k_1, k_2, k_3) = Parâmetros da distorção radial simétrica;

(P_1, P_2) = Parâmetros da distorção descentrada;

(x_o, y_o) = Coordenadas do ponto principal no referencial de "imagem".

c = Distância focal da câmara;

$(X_o, Y_o, Z_o)^T$ = Coordenadas da estação de exposição;

$[X_L, Y_L, Z_L]^T$ = Coordenadas de pontos no referencial geodésico local;

m_{ij} = Elementos da matriz de rotação $(R(\chi).R(\varphi).R(\omega))$.

Neste trabalho foi utilizada a origem do referencial de "imagem" como sendo o centro da imagem.

Nas aplicações convencionais de monorestituição com a utilização das equações de colinearidade inversa o valor da coordenada Z_L é obtido por um processo iterativo apoiado num modelo digital de terreno (DTM). Nesta aplicação onde o objetivo é o mapeamento de edificações com a integração de dados *laser scanner*, implementou-se um novo procedimento para se obter esta coordenada. Os pontos provenientes do levantamento *laser scanner* que definem as bordas das edificações são projetados para o espaço imagem com as equações de colinearidade direta, conforme apresentados nas figuras 02 e 03. Um conjunto de (n) pontos com coordenadas no referencial híbrido (fotogramétrico e geodésico)

$(x_{pi}, y_{pi}, Z_{Li})_{i=1,n}$ é gerado. O ponto fotogramétrico de um canto de uma edificação é observado no referencial da imagem. Após simples transformações matemáticas as suas coordenadas no referencial fotogramétrico são determinadas. Para a determinação das coordenadas geodésicas locais $[X_L Y_L]$ com a aplicação das equações de colinearidade inversa, o valor da coordenada Z_L deve ser determinado. Utilizando a técnica de interpolação do “vizinho mais próximo”, o valor Z_L do ponto a ser retificado é determinado no arquivo de coordenadas de pontos *laser scanner* transformado $(x_{pi}, y_{pi}, Z_{Li})_{i=1,n}$.

A metodologia proposta foi implementada no programa computacional 3D MONOPLOTTER, (ver figura 04) desenvolvido no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR.

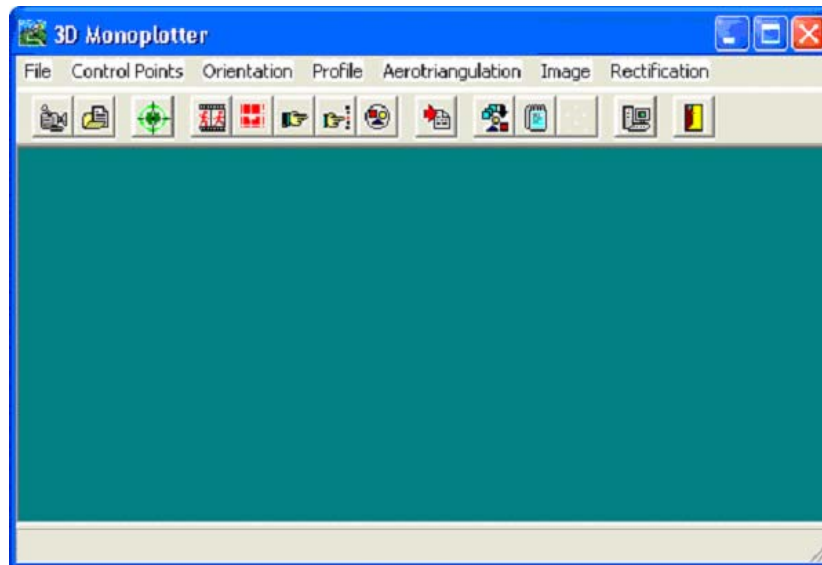


Figura 04 – Página principal do programa 3D Monoplotter

7. RESULTADOS OBTIDOS NA MONORESTITUIÇÃO DE EDIFICAÇÕES

7.1. ORIENTAÇÃO EXTERIOR

Empregando-se as equações de colinearidade na forma direta e ajustamento MMQ (mínimos quadrados) determinou-se os parâmetros de orientação exterior da imagem. Para a realização do ajustamento foram observados oito pontos de apoio distribuídos por toda a imagem. Coordenadas destes pontos no referencial fotogramétrico foram obtidas das observações realizadas na imagem digital com o sistema CAD MicroStation PC e as coordenadas no referencial geodésico local obtidas da observação de modelos fotogramétricos no sistema analítico ZEISS PLANICOMP C-100, conforme descrito no item 5 deste trabalho. Os resultados principais obtidos no ajustamento são:

Kappa (χ) = 1,9651533575	$\sigma_{(\chi)} = 0,0005451726$
Phi (ϕ) = 0,0064097357	$\sigma_{(\phi)} = 0,0027718695$
Ômega (ω) = -0,0158918124	$\sigma_{(\omega)} = 0,0030046261$
Xo(m) = 108,6212222420	$\sigma_{(Xo)} = 2,1647013270$
Yo(m) = -76,2077762045	$\sigma_{(Yo)} = 2,3494253375$
Zo(m) = 1652,6215413585	$\sigma_{(Zo)} = 0,4449289549$

Desvio padrão dos resíduos nas coordenadas fotogramétricas: ($\sigma_{(x)} = 0,003$ mm e $\sigma_{(y)} = 0,003$ mm)

Desvio padrão dos resíduos nas coordenadas geodésicas locais: ($\sigma_{(X)} = 0,221$ m; $\sigma_{(Y)} = 0,191$ m; $\sigma_{(Z)} = 0,063$ m).

7.2. MONORESTITUIÇÃO TRIDIMENSIONAL

Utilizando-se o Programa 3D Monoplotter, o arquivo vetorial digitalizado foi retificado, conforme metodologia apresentada no item 6.

As coordenadas tridimensionais de alguns cantos das edificações (X, Y e Z) foram obtidas no arquivo vetorial retificado. As coordenadas planimétricas (X, Y) foram determinadas com a aplicação das equações de colinearidade inversa e a coordenada altimétrica da interpolação realizada com os dados *laser scanner*. Os valores obtidos do arquivo vetorial retificado foram comparados com as coordenadas

determinadas com a leitura de modelos fotogramétricos no Sistema ZEISS PLANICOMP C-100, conforme descrito no item 5 deste trabalho. Para a verificação da exatidão da monorestituição 3D proposta nesta pesquisa, considerou-se que as coordenadas tridimensionais dos cantos das edificações obtidas no PLANICOMP C-100 são corretas, isentas de erros de observação e outros ligados com o processo fotogramétrico utilizado.

O quadro 02 mostra os resultados de exatidão obtidos na monorestituição 3D na região de grandes edificações. As siglas DX, DY e DZ são as discrepâncias em metros nas três coordenadas tridimensionais do ponto e Dpla é a discrepância planimétrica existente.

Quadro 02 – Exatidão obtida na monorestituição 3D na região de grandes edificações

Pto	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	Dpla(m)
1	.314	-.147	.077	.347
2	.069	.145	-.068	.161
3	-.135	.005	.339	.135
4	.080	.494	.077	.500
5	.007	.418	-.361	.418
6	.141	.485	-.371	.505
7	.224	.334	-.467	.402
8	.114	.597	-.525	.608
9	-.324	.360	.106	.484
10	-.011	.135	-1.127	.135
11	-.051	.251	.145	.256
12	-.587	.185	-.282	.615
13	.261	-.103	-.001	.281
14	-.229	-.007	.160	.229
15	-.043	.018	.102	.047
16	.252	-.054	.377	.258
17	-.207	-.010	-.003	.207
18	.011	.204	-.161	.204
19	.236	-.035	-.139	.239
20	.195	.288	-.042	.348
21	-.206	-.275	-.792	.344
22	.322	.473	-.011	.572
23	.035	-.005	-.271	.035
24	-.238	.481	-.049	.537
25	-.113	.251	-.223	.275
26	-.382	.038	-.218	.384
27	-.243	.032	-.098	.245
28	-.058	.240	-.509	.247
29	.394	-.244	-.220	.463
30	-.149	-.133	.223	.200
31	.069	-.179	.483	.192
32	.138	.261	-.148	.295
33	-.152	-.157	-.269	.219
34	.109	-.480	.577	.492
35	.099	.362	-.281	.375
Média	-.002	.121	-.113	.322
Desvio Padrão	.221	.258	.341	.154

A figura 05 mostra a distribuição espacial das discrepâncias planimétricas apresentadas no quadro 02. Verifica-se no gráfico que as discrepâncias planimétricas encontram-se bem distribuídas em torno da origem 0,0 e 90% dos pontos testados apresentam exatidão planimétrica de até 0,5 do metro. Os resultados obtidos para a monorestituição 3D de grandes edificações são equivalentes à uma restituição estereofotogramétrica convencional na escala de 1/2000.

No quadro 03 e figura 06 são apresentadas as exatidões obtidas com a monorestituição 3D na região de pequenas edificações. Neste caso, as exatidões alcançadas na determinação das coordenadas tridimensionais são inferiores se comparadas com o caso anterior. Verifica-se que 90% dos pontos testados apresentam precisão planimétrica de até 0,70 do metro. Esta menor precisão está relacionada com duas principais deficiências. A primeira ligada com a maior dificuldade para a definição de pontos que representam as bordas das edificações no conjunto de pontos provenientes da varredura

laser, como foi mencionado no item 4.0 e a segunda com dificuldade de identificação dos cantos das edificações na imagem digital, devido à resolução da imagem.

RESULTANTES PLANIMÉTRICAS

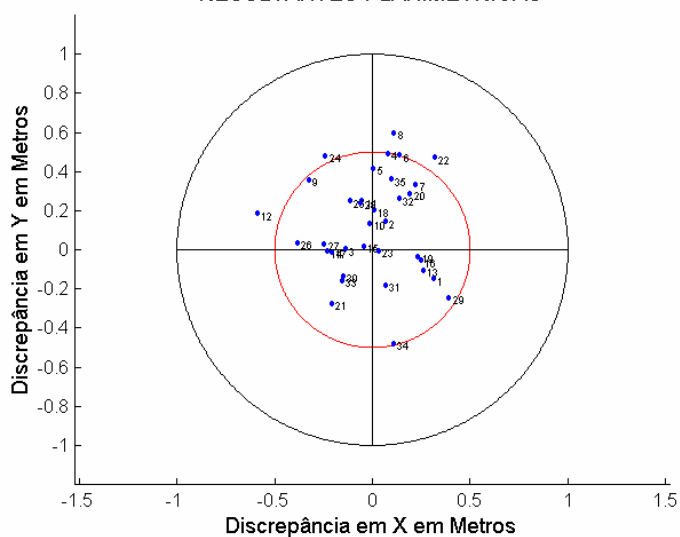


Figura 05 – Visualização especial das discrepâncias planimétricas na região de grandes edificações

Quadro 02 – Exatidão obtida na monorestituição 3D na região de pequenas edificações

Pto	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	Dpla(m)
1	0,421	0,131	10,842	0,441
2	-0,242	-0,233	-0,082	0,336
3	0,569	-0,090	-0,121	0,576
4	0,263	0,250	0,113	0,363
5	0,368	-0,248	-0,164	0,444
6	0,463	-0,393	-0,484	0,607
7	0,468	-0,072	-0,073	0,474
8	0,243	-0,069	-0,083	0,253
9	-0,100	-0,003	0,853	0,100
10	0,219	-0,125	0,324	0,252
11	0,495	-0,026	0,220	0,496
12	0,250	-0,303	-0,158	0,393
13	-0,134	-0,173	-0,197	0,219
14	0,503	0,309	-0,293	0,590
15	0,338	-0,202	-0,320	0,394
16	0,185	0,138	0,208	0,231
17	0,596	-0,081	-0,299	0,601
18	0,659	0,114	-0,381	0,669
19	0,554	0,259	-0,282	0,612
20	0,059	-0,051	0,284	0,078
21	0,557	-0,539	-0,369	0,775
22	-0,085	-0,385	-0,065	0,394
23	0,256	0,408	-0,196	0,482
24	0,218	0,447	0,062	0,497
25	0,256	0,181	-0,137	0,314
26	0,727	0,211	-0,473	0,757
27	-0,028	0,441	-0,391	0,442
28	-0,019	-0,133	-0,246	0,134
29	0,384	-0,331	-0,277	0,507
30	0,518	-0,574	10,132	0,773
31	0,523	0,180	0,185	0,553
32	0,453	-0,286	10,049	0,536
33	0,319	-0,373	-0,805	0,491
Média	0,311	-0,049	-0,232	0,448
Desvio Padrão	0,248	0,277	0,477	0,184

Verifica-se na figura 05 uma pequena tendência de afastamento sistemático nas discrepâncias planimétricas determinadas, de aproximadamente um pixel no terreno. Este afastamento está relacionado com a determinação dos parâmetros de orientação exterior. As imprecisões existentes na identificação e leitura dos pontos de apoio na imagem, devido à resolução da imagem, influenciam a determinação dos parâmetros de orientação exterior. Afastamentos sistemáticos com o mesmo nível de significância foram encontrados em outras orientações realizadas e não mostradas neste trabalho. Nestas orientações foram empregados diferentes conjuntos de pontos de apoio lidos na imagem. Verificou-se que este tipo de afastamento pode ocorrer em qualquer uma das regiões testadas, dependendo dos parâmetros de orientação determinados. Entretanto, os afastamentos sistemáticos encontrados nos testes realizados sempre ficaram com o nível de significância de um pixel.

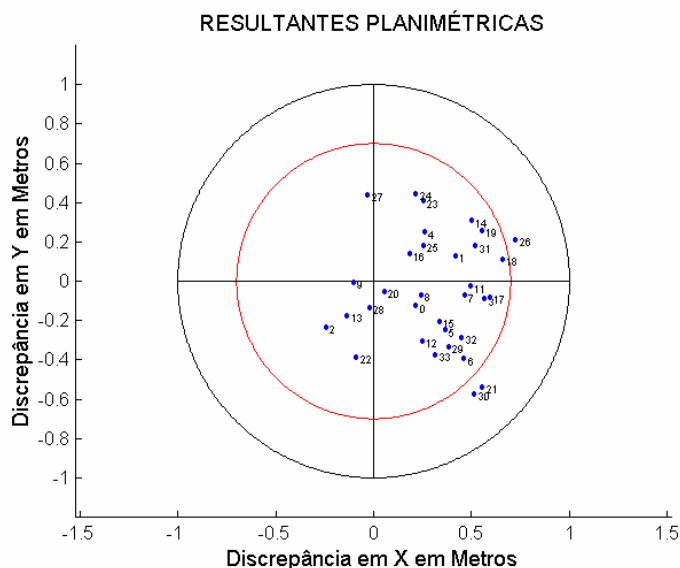


Figura 06 – Visualização especial das discrepâncias planimétricas na região de pequenas edificações

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que a metodologia apresentada para a monorestituição 3D de edificações com a integração de dados *laser scanner* e imagens digitais de pequeno formato é viável e permite obter exatidões planimétrica e altimétrica necessárias para a realização de mapeamentos vetoriais tridimensionais na escala de 1/2000. Nos experimentos realizados, 100% dos pontos testados apresentaram discrepâncias planimétricas abaixo de 0,8 m. A metodologia proposta poderá ser uma alternativa para a obtenção de informações da superfície terrestre tendo em vista as facilidades operacionais existentes na monorestituição e a popularização das câmaras digitais de pequeno formato. A dependência de um levantamento *laser scanner*, nos dias atuais, pode ser encarada como sendo a principal desvantagem para a execução da metodologia proposta. Pesquisas estão sendo realizadas para a automatização do processo, através do desenvolvimento de algoritmos matemáticos que possibilitem melhorar a precisão da seleção de pontos *laser scanner* que definem os contornos das edificações. A utilização de câmaras digitais de pequeno formato com maior resolução e baixo custo aumentará o desempenho da metodologia proposta. A utilização de imagens com maior qualidade espacial, permitirá a identificação e leitura dos detalhes pontuais com maior precisão, aumentando a exatidão da metodologia proposta. A dimensão da área coberta por uma imagem tomada com câmara de pequeno formato é uma desvantagem operacional importante, quando comparada com as câmaras fotogramétricas convencionais. Esta desvantagem, num futuro próximo estará sanada com o desenvolvimento e utilização dos sensores com maior resolução, baseados na tecnologia CMOS.

9. REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. **Airborne Laser Scanning for Elevation Models**. Geomatics Info Magazine, V. 10, p. 24-25, 1996.
- AXELSSON, P. **Processing of Laser Scanner Data – Algorithms and Applications**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. V. 54, p. 138-147, 1999.
- BALTSAVIAS, E. P. **A Comparison Between Photogrammetry and Laser Scanning**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. V. 54, p. 83-94, 1999.
- DOUGLAS, D. H., PEUCKER, T. K. **Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Line or Its Caricature**. The Canadian Cartographer. V. 10, n. 2, p. 112-122, 1973.

HABIB, Ayman F.; SHIN, S. W.; MORGAN, M. F. **New Approach for Calibrating Off-the-shelf Digital Cameras**. In: PHOTOGRAMMETRIC COMPUTER VISION – PCV02. September 9-13, 2002. Graz, Áustria. Proceedings... Graz[s.n], Part A.

HABIB, A. F., MORGAN, M. F. **Small Format Digital Câmeras for Mapping Application: Calibration and Stability Analysis**. In: NOVOS DESENVOLVIMENTOS EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS 2003, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. p. 03-26, (Série em Ciências Geodésicas, v.3).

MACHADO, A. M., MITISHITA, E., SANTOS, R. L., BARBOSA, F. **Verificação da Estabilidade Geométrica dos Parâmetros de Calibração de uma Câmara digital de Pequeno Formato Sony DSC-F717**. In: NOVOS DESENVOLVIMENTOS EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS 2003, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003. p. 03-26, (Série em Ciências Geodésicas, v.3).

MAKAROVIK, B. **Digital Mono-Plotters**. I.T.C. Journal, v. 1, p. 101-122, 1973.

MITISHITA, Edson A. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.