

Avaliação da qualidade das medições fotogramétricas realizadas na versão integrada 1.0β do software livre de fotogrametria digital e-foto

Marcelo Sales Moffati ¹
Jorge Luís Nunes e Silva Brito ²
Luiz Guimarães Barbosa ¹
Guilherme Lúcio Abelha Mota ²
João Gonçalves Bahia ¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Seropédica - RJ, Brasil
{mmoffati, luizgb, jbahia}@ufrj.br

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Caixa Postal 515 - 12227-010 - Maracanã - RJ, Brasil
jsilvabr@gmail.br
guimota@ime.uerj.br

Abstract. The acronym E-FOTO stands for an Educational Digital Photogrammetric Workstation. This is a multidisciplinary research project developed in The Rio de Janeiro State University. The E-FOTO project has two pillars: self-learning and gratuity. This dissertation evaluates the quality of the photogrammetric measurements performed by the 1.0β integrated version of the E-FOTO software. One photogrammetric blocks of airborne imagery: the former photogrammetric dataset is assembled from 12 photograms of the city of Seropédica-RJ, flown in 2005. The photogrammetric measurements taken in the E-FOTO were compared with those taken using the Leica Photogrammetry Suite (LPS 2010) commercial software. The ground truth is a set of 30 ground testing points (GCP) measured with a geodetic, dual frequency receiver of the Global Navigation Satellite System (GNSS/GPS). A digital photogrammetric mapping procedure was used to evaluate the E-FOTO software. For doing so, both interior and exterior orientation parameters of every image were computed. The photogrammetric computation of object-space coordinates of testing points was performed in the 1.64 version of the stereo plotter module of the E-FOTO. The comparisons of the results of the E-FOTO measurements with those taken from the LPS software can be considered identical, at the confidence level of 95%. The photogrammetric measurements performed in the 1.64 version of the E-FOTO stereoplotter module also match the tridimensional UTM coordinates (E, N and H) of the ground testing points at the same confidence level of 95%.

Palavras-chave: e-foto. lps. quality evaluation. digital photogrammetric measurements.

1. Introdução

O mapeamento cartográfico é uma atividade que demanda diversos procedimentos de campo e escritório, para chegar ao objetivo principal que é a confecção de um documento cartográfico de qualidade, podendo-se para isto utilizar variadas metodologias e tecnologias.

A resolução dos instrumentos utilizados para obtenção das informações de campo na cartografia, juntamente com as diversas metodologias, evoluíram com o passar do tempo, o que contribuiu significativamente para o aumento da qualidade e da produtividade. Atualmente quando se planeja o mapeamento de extensas regiões da superfície terrestre, fica inviável a utilização dos métodos clássicos de levantamento topográfico, pelo elevado custo. Com a invenção da fotografia (século XIX) e mais tarde do avião (1913), percebeu rapidamente o potencial desses instrumentos para as ciências cartográficas na coleta de dados espaciais necessários para a construção de um documento cartográfico. A aerofotogrametria foi a área da fotogrametria que mais se desenvolveu. Esta técnica consiste basicamente da utilização de um avião para a obtenção de um conjunto de fotografias de uma área de interesse, a partir do sobrevoo com uma câmara métrica. Com o aumento da capacidade de processamento e memória dos computadores, nasce na década de 90 a fotogrametria digital.

Conforme Coelho e Brito (2007) o objetivo da fotogrametria digital é o mapeamento automático das feições do terreno, sendo o atual estado da arte o mapeamento semi-automático. A fotogrametria digital utiliza a imagem digital como fonte primária de dados.

A ideia do desenvolvimento de um software livre de fotogrametria digital, teve origem no Instituto Militar de Engenharia - IME no ano de 2002. Uma das motivações para esta iniciativa foi o fato das soluções comerciais de fotogrametria digital possuir elevado custo. Atualmente, desde 2004, está em desenvolvimento no laboratório de fotogrametria do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, a estação fotogramétrica digital educacional livre, denominada E-FOTO, cujo objetivo principal é o ensino da fotogrametria. O projeto se baseia em dois pilares: autoaprendizagem e gratuidade. Na página do software na internet (www.efoto.eng.uerj.br), o interessado pode fazer o download da versão integrada 1.0 β do software, lançada em julho de 2011, e ter acesso a todo suporte técnico necessário para sua utilização/aprendizado, através dos tutoriais. A versão integrada permite a criação de um projeto de mapeamento aerofotogramétrico digital de qualquer área, desde que, o interessado possua o certificado de calibração da câmara fotogramétrica, as imagens digitais da região e as coordenadas plano-retangulares no sistema UTM dos pontos de controle no espaço-objeto (E, N e H).

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a qualidade dos cálculos fotogramétricos efetuados pela versão integrada 1.0 β do software livre E-FOTO, a partir da criação de um projeto de mapeamento aerofotogramétrico digital. Foi utilizado um bloco de fotografias digitais do ano de 2005 do município de Seropédica-RJ, com resolução geométrica de 1.200 dpi e resolução radiométrica de 8 bits, acompanhada do certificado de calibração da câmara fotogramétrica, ambos cedidos pelo IBGE e pontos de controle e de verificação medidos com a tecnologia de posicionamento espacial (GPS/GNSS). Os resultados encontrados foram comparados com a solução comercial de fotogrametria digital Leica Photogrammetry Suite (LPS 2010).

2. Metodologia de Trabalho

Segundo Moffati (2011) os materiais e métodos utilizados para a realização deste trabalho consistiu inicialmente da escolha de uma região com aproximadamente 272,3 km² de área, contida no retângulo delimitado pelas seguintes coordenadas geográficas: canto superior esquerdo 22° 40' 33" de latitude Sul e 43° 47' 12" de longitude Oeste; canto superior direito 22° 40' 31" de latitude Sul e 43° 38' 32" de longitude Oeste; canto inferior direito 22° 49' 31" de latitude Sul e 43° 38' 20" de longitude Oeste e canto inferior esquerdo 22° 49' 33" de latitude Sul e 43° 47' 28" de longitude Oeste. A Figura 1 apresenta o croqui da área de estudo.



Figura 1 - Croqui da área de estudo (Fonte: Google Earth).

Utilizou-se o bloco de fotografias aéreas digitais formado por 03 linhas de voo no sentido leste-oeste, com 04 fotografia cada, do município de Seropédica-RJ (Figura 2), cedidos pelo

IBGE. Neste município localiza-se o Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, a EMBRAPA e a PESAGRO.

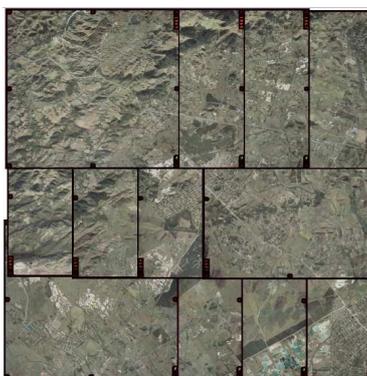


Figura 2 - Bloco de fotografias aéreas. (Fonte: IBGE).

Os pontos de controle e verificação foram medidos com o GNSS/GPS. Utilizou-se dois receptores GNSS RTK da marca Topcon de dupla frequência (L1+L2), capaz de rastrear sinais de satélites GPS e GLONASS (Figura 3), com precisão horizontal de $\pm(3\text{mm} + 0,5 \text{ ppm} \times D)$ e vertical de $\pm(5\text{mm} + 0,5 \text{ ppm} \times D)$, sendo D o comprimento do vetor. No ambiente e-foto foi criado o projeto de mapeamento fotogramétrico denominado de Projeto RURAL. Para a criação do projeto de mapeamento aerofotogramétrico digital são necessários: o certificado de calibração, as fotografias digitais, e as coordenadas dos pontos de controle. Para o processamento dos dados GNSS/GPS, foi utilizado o software Topcon Tools v.7.5.1 e o MAPGEO 2010 (IBGE) para a determinação da ondulação geoidal.

Para a execução das orientações interior e exterior e a medição dos pontos fotogramétricos, foi utilizada a versão integrada 1.0 β do software livre de fotogrametria digital E-FOTO e o módulo estereoplotter versão 1.64, respectivamente.

No ambiente e-foto foi criado o projeto de mapeamento aerofotogramétrico digital, sendo necessário o certificado de calibração, as fotografias digitais e os pontos de controle. Na Figura 3 é apresentada a tela de abertura da versão integrada do e-foto (Gerenciador de projeto).



Figura 3 - Tela de abertura da versão integrada do E-FOTO (Gerenciador de projeto). Fonte: Tutorial do submódulo de gerenciamento de projetos fotogramétricos da versão integrada do E-FOTO (versão educacional).

Em seguida a criação do projeto, foi executada a orientação interior, que constitui no cálculo dos parâmetros de transformação entre o sistema de coordenadas de imagem digital (linha e coluna do *pixel*) e o sistema fotográfico (Coelho e Brito, 2007). Com os parâmetros da orientação pode-se realizar a orientação exterior, que consiste em orientar cada uma das

imagens em relação ao sistema de coordenadas do espaço-objeto (Coelho e Brito, 2007). Para isso são necessários pelo menos três pontos não colineares de coordenadas tridimensionais conhecidas no sistema de coordenadas do espaço-objeto. Através da equação de colinearidade as coordenadas no espaço-objeto do Centro de Perspectiva (X_0 , Y_0 e Z_0) e os ângulos de atitude do sensor (ω , ϕ e κ) são obtidos. Na Figura 4 é apresentado o módulo de orientação exterior, destacando a fotografia utilizada, o vetor dos parâmetros ajustados (X_a) e os pontos de controle medidos (rodapé da imagem).

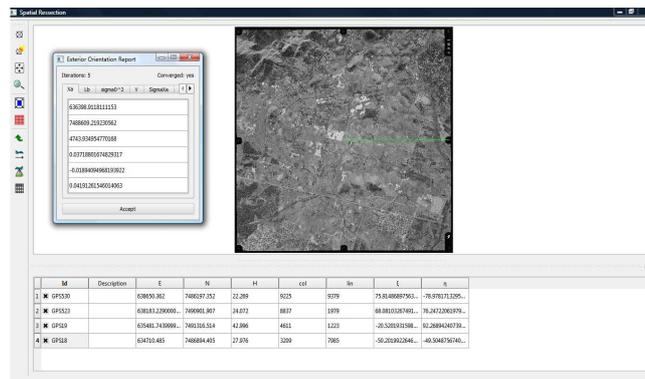


Figura 4 - Módulo de orientação exterior, em destaque a fotografia utilizada, o vetor dos parâmetros ajustados (X_a) e os pontos de controle medidos (rodapé da imagem). Fonte: Tutorial de orientação exterior por ressecção espacial no software livre E-FOTO.

As medidas fotogramétricas foram realizadas no módulo estereoplottor versão 1.64 do e-foto. Para a utilização do módulo é obrigatório a realização das orientações interior e exterior a priori. As coordenadas tridimensionais (E, N e H) dos pontos fotogramétricos, no espaço-objeto, são obtidas por intersecção espacial. Na Figura 5 é apresentada a tela principal do módulo estereoplottor do E-FOTO.

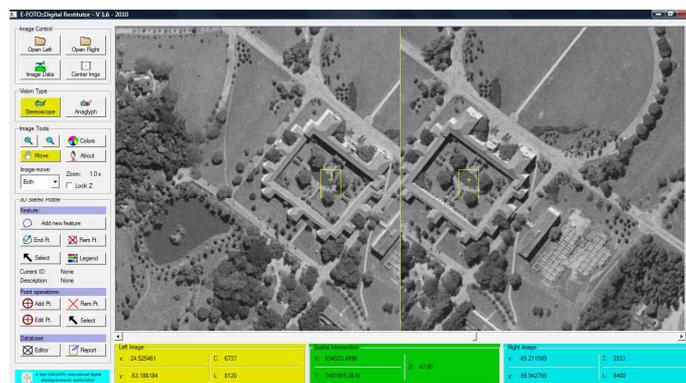


Figura 5 - Tela principal do módulo estereoplottor do E-FOTO. Fonte: Tutorial de estereoplottor do software livre E-FOTO.

No LPS não foi efetuada nenhuma medição, isto é, todas as medidas necessárias para a obtenção dos parâmetros das orientações interior e exterior, foram provenientes do e-foto.

Os resultados dos experimentos realizados neste trabalho foram analisados segundo o método de inferência estatística t de Student, com nível de significância de 5%. Para maiores informações consultar Gemael (1984).

As hipóteses testadas foram:

$$\text{Hipótese nula (H}_0\text{)} \quad \rightarrow \quad H_0 : \mu = 0$$

$$\text{Hipótese alternativa (H}_1\text{)} \quad \rightarrow \quad H_1 : \mu \neq 0$$

Condição para passar no teste: $t_x < t_{(n-1, 1-\alpha/2)}$

$$t_x = \left| \frac{\bar{d} - \mu}{S_{\bar{d}}} \right| < t_{(n-1, 1-\alpha/2)} \quad (1)$$

Onde:

- t_x - valor de t calculado;
- \bar{d} - média das diferenças dos parâmetros nos dois softwares;
- μ - média populacional das diferenças;
- $S_{\bar{d}}$ - erro padrão da média das diferenças;
- n - número de diferenças dos parâmetros testados;
- α - nível de significância.

O erro padrão da média é calculado pela fórmula abaixo.

$$S_{\bar{d}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Onde:

- σ - desvio padrão;
- n - tamanho da amostra.

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na realização das medições para efetuar a orientação interior no E-FOTO. Na referida tabela as coordenadas das marcas fiduciais no sistema fotogramétrico estão em milímetros, conforme consta no certificado de calibração e as coordenadas das marcas fiduciais no espaço-imagem em colunas e linhas, medidas no módulo de orientação interior da versão integrada do E-FOTO, para as fotografias: 1809, 1810, 1811 e 1812.

Tabela 1 - Coordenadas das marcas fiduciais no sistema fotogramétrico e no sistema espaço-imagem.

Marca Fiducial	Coordenadas das marcas fiduciais no sistema fotogramétrico		Coordenadas das marcas fiduciais no espaço-imagem							
			Foto 1809		Foto 1810		Foto 1811		Foto 1812	
	x (mm)	y (mm)	Coluna	linha	coluna	linha	coluna	Linha	coluna	Linha
1	113,019	0,051	10974	5573	10958	5568	10978	5573	10975	5546
2	-112,996	-0,055	200	5616	186	5611	206	5609	201	5593
3	0,072	112,995	5572	207	5557	203	5580	204	5570	182
4	-0,043	-112,995	5604	10981	5588	10974	5606	10976	5607	10955
5	113,054	113,057	10959	186	10942	183	10965	187	10957	159
6	-113,041	-113,049	218	11003	203	10997	220	10995	220	10979
7	-112,947	112,952	184	228	170	224	193	222	182	205
8	112,964	-112,939	10992	10959	10974	10953	10992	10958	10993	10932

Compararam-se os parâmetros da orientação interior obtidos no E-FOTO e no LPS, sem considerar os parâmetros adicionais da câmara. Verificou-se através do teste t que os

parâmetros da orientação-interior entre os softwares, podem ser considerados semelhantes a um nível de significância de 5%. A Tabela 2 apresenta o resultado do teste t .

Tabela 2 - Resultado do teste t na comparação entre os parâmetros da orientação interior determinados pelo software E-FOTO e LPS.

	$\Delta a0$ (mm)	$\Delta a1$ (mm)	$\Delta a2$ (mm)	$\Delta b0$ (mm)	$\Delta b1$ (mm)	$\Delta b2$ (mm)
\bar{d}	0,0000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000000	0,000000
$S\bar{d}$	0,0000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000000	0,000000
t_x	0	0	0	0	0	0

$t_{(n-1, 1-\alpha/2)} = 2,201$

A Tabela 3 apresenta as coordenadas planas no sistema UTM (E, N), MC=-45°, sistema de referência, SIRGAS2000 e altitudes ortométricas (H) com origem no *Datum* de Imbituba - SC dos pontos de controle no espaço-objeto e o resultado das medidas realizadas no espaço-imagem necessário para obter a orientação exterior (coluna 5 e 6), bem como no sistema fotogramétrico (coluna 7 e 8).

Tabela 3 - Coordenadas planas UTM e altitudes ortométricas dos pontos de controle no espaço-objeto e coordenadas no espaço-imagem - Fotografia 1866.

Id	E (m)	N (m)	H (m)	col	lin	ξ (mm)	η (mm)
GPS530	638650,362	7486197,352	22,269	9225	9378	75,914	-78,957
Campinho II	634090,310	7485298,262	38,488	2205	10325	-71,355	-98,545
GPS523	638183,229	7490901,907	24,072	8837	1979	68,081	76,247
GPS19	635481,744	7491316,514	42,606	4614	1223	-20,457	92,268

Número de iterações = 4

Compararam-se os parâmetros da orientação exterior obtidos no E-FOTO e no LPS, sem considerar os parâmetros adicionais da câmara. Os parâmetros da orientação exterior, podem ser considerados semelhantes, a um nível de significância de 5%, conforme pode-se observar na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado do teste t na comparação entre os parâmetros da orientação exterior determinados pelo software E-FOTO e LPS, sem considerar os parâmetros adicionais da câmara.

	$\Delta X0$ (m)	$\Delta Y0$ (m)	$\Delta Z0$ (m)	$\Delta OMEGA$ (m)	ΔPHI (m)	$\Delta KAPPA$ (m)
\bar{d}	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
$S\bar{d}$	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	0,0000
t_x	0	0	0	0	0	0

$t_{(n-1, 1-\alpha/2)} = 2,201$

Compararam-se os parâmetros da orientação interior obtidos no E-FOTO e no LPS, levando em consideração os parâmetros adicionais da câmara. Os parâmetros da orientação interior, podem ser considerados semelhantes, a um nível de significância de 5%, conforme pode-se verificar na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultado do teste t na comparação entre os parâmetros da orientação interior determinados pelo software E-FOTO e LPS, considerando os parâmetros adicionais da câmara.

	$\Delta a0$ (mm)	$\Delta a1$ (mm)	$\Delta a2$ (mm)	$\Delta b0$ (mm)	$\Delta b1$ (mm)	$\Delta b2$ (mm)
\bar{d}	0,0000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000000	0,000000
$S_{\bar{d}}$	0,0000	0,000000	0,000000	0,0000	0,000000	0,000000
t_x	0	0	0	0	0	0

$t_{(n-1, 1-\alpha/2)} = 2,201$

Compararam-se os parâmetros da orientação exterior obtidos no E-FOTO e no LPS, levando em consideração os parâmetros adicionais da câmara. Os parâmetros X0 e Y0 da orientação exterior, podem ser considerados semelhantes, a um nível de significância de 5%, enquanto o parâmetro Z0, não pode ser considerado semelhante ao obtido com o LPS, a um nível de significância de 5%, como pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado do teste t na comparação entre os parâmetros da orientação exterior determinados pelo software E-FOTO e LPS, considerando os parâmetros adicionais da câmara.

	$\Delta X0$ (m)	$\Delta Y0$ (m)	$\Delta Z0$ (m)	$\Delta OMEGA$ (rad)	ΔPHI (rad)	$\Delta KAPPA$ (rad)
\bar{d}	-0,079	0,169	0,814	0,000	0,000	0,000
$S_{\bar{d}}$	0,274	0,290	0,330	0,000	0,000	0,000
t_x	0,288	0,583	2,467	0	0	0

$t_{(n-1, 1-\alpha/2)} = 2,201$

Segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (DECRETO N° 89.817/84) e em função das medições realizadas, a qualidade dos resultados obtidos nas medições fotogramétricas dos pontos de verificação no módulo estereoplotter versão 1.64 do E-FOTO, possibilitaria confeccionar uma carta topográfica na escala 1/10.000 com curvas de nível equidistante de 5 m, classe A para a planimetria e classe B para a altimetria.

As diferenças entre os resultados obtidos com as metodologias utilizadas pelo E-FOTO e LPS, sem levar em consideração os parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica no software LPS, na obtenção das coordenadas dos pontos de verificação no espaço-objeto, não são significativas em nível de 5%, portanto elas podem ser consideradas equivalentes. A Tabela 7 apresenta os resultados do teste t de Student.

Tabela 7 - Resultado do teste t na comparação entre metodologias utilizadas pelo E-FOTO e LPS, sem levar em consideração os parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica no software LPS.

	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔH (m)
\bar{d}	0,148	0,056	-0,527
$S_{\bar{d}}$	0,193	0,307	0,329
t_x	0,767	0,182	1,602

$t_{(n-1, 1-\alpha/2)} = 2,045$

4. Conclusões

Com a realização deste trabalho conclui-se que:

- A diferença entre os resultados obtidos pelo E-FOTO e LPS, na determinação dos parâmetros das orientações interior e exterior, sem a inclusão dos parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica, não são significativas em nível de 5%.

- As diferenças na obtenção de cada parâmetro da orientação interior obtidas com o E-FOTO e LPS, sendo que no LPS foram incluídos os parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica, não são significativas em nível de 5%.

- As diferenças na obtenção de cada parâmetro da orientação exterior obtidas com o E-FOTO e LPS, com a inclusão no LPS dos parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica, não é significativa para os parâmetros X0 e Y0 em nível de 5%, mas é significativa na obtenção do parâmetro Z0, em nível de 5%. A versão integrada 1.0 β não considera no modelo matemático da ressecção espacial os parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica (em implementação).

- As diferenças entre os resultados obtidos com as metodologias utilizadas pelo E-FOTO e LPS, sem levar em consideração os parâmetros relativos às distorções das lentes da câmara fotogramétrica no software LPS, na obtenção das coordenadas dos pontos de verificação no espaço-objeto, não são significativas em nível de 5%.

Diante destes resultados verificou-se que o software E-FOTO possibilita resultados em sua metodologia de modelagem semelhante a do LPS, que é um software já consagrado no mercado para esta finalidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao IBGE pela seção das fotografias digitais utilizadas para a realização deste trabalho e a equipe do Projeto E-FOTO.

Referências Bibliográficas

BRITO, J. L. N. S.; FILHO, L. C. T.C. *Fotogrametria Digital*. Eduerj, Rio de Janeiro, Brasil, 2007. 196p.

GEMAEL, C. *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba, PR: UFPR, 1984.

MOFFATI, M. S. *Avaliação da qualidade das medições fotogramétricas da versão integrada do software livre E-FOTO*. 2011. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL DECRETO Nº 89.817 DE 20 DE JUNHO DE 1984. Disponível em:

<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pmrg/legislacao/LEGISLA_DECRETO_89817_D.pdf>. Acesso em: 23.nov.2009.

TUTORIAL DO SUBMÓDULO DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS FOTOGAMÉTRICOS DA VERSÃO INTEGRADA DO E-FOTO (VERSÃO EDUCACIONAL). Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/>>. Acesso em: 15.ago.2011.

TUTORIAL DO SUBMÓDULO DE ORIENTAÇÃO INTERIOR E-FOTO. Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/>>. Acesso em: 15.ago.2011.

TUTORIAL DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR POR RESSECÇÃO ESPACIAL NO SOFTWARE LIVRE E-FOTO. Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/>>. Acesso em: 15.ago.2011.

TUTORIAL DE ESTEREOPLOTTER DO SOFTWARE LIVRE E-FOTO. Disponível em: (<http://www.efoto.eng.uerj.br/>). Acesso em: 15.ago.2011.