

Projeto E-FOTO: Disponibilizando uma Ferramenta educacional livre para a Fotogrametria Digital

Jorge L. N. e S. Brito ¹
Luiz C. T. Coelho Filho ¹
Francisco J. C. da Silveira ¹
Guilherme L. A. Mota ²
Orlando Bernardo Filho ²
João A. Ribeiro ²
Marcelo T. Silveira ²
Rodrigo J. M. da Fonseca ²

¹ Departamento de Engenharia Cartográfica
20550-900 Rio de Janeiro RJ
efoto@yahoogroups.com

² Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação
20550-900 Rio de Janeiro RJ
efoto@yahoogroups.com

Resumo. A comunidade acadêmica vem experimentando os benefícios da filosofia de Software Livre em diversas áreas do conhecimento. Contudo, o campo da Fotogrametria Digital ainda permanece praticamente inexplorado. Uma das exceções é o projeto E-FOTO, que visa ao desenvolvimento de uma Estação Fotogramétrica Digital (EFD) com finalidade educacional. Este projeto baseia-se na filosofia de auto-aprendizagem e na gratuidade dos programas componentes, em código aberto e livre, atendendo aos princípios da comunidade de Software Livre. O projeto E-FOTO desenvolve e disponibiliza um dos poucos ambientes GNU/GPL integrados por uma EFD para ensino e auto-aprendizado de Fotogrametria Digital. Este trabalho apresenta as principais realizações e repercussões do projeto E-FOTO.

Palavras chaves: fotogrametria digital, estação fotogramétrica digital educacional, software livre para fotogrametria, E-FOTO.

Abstract. The academic community has been experiencing the benefits of the development of Free-software in many areas of knowledge. However, Digital Photogrammetry is a field that remains practically unexplored. One of the few exceptions is the E-FOTO project which aims to developing a Digital Photogrammetric Workstation (DPW) for educational purposes. This project is based upon the self-learning approach and on the principles of the Free-Software community. The E-FOTO project brings one GNU/GPL educational DPW integrating an environment for teaching and self-learning of Digital Photogrammetry. This paper presents the main achievements and repercussions of E-FOTO.

Keywords: digital photogrammetry, educational digital photogrammetric workstation, free-software for photogrammetry, E-FOTO.

1 Introdução

A tecnologia de fotogrametria digital começou a ser utilizada em larga escala a partir de 1995, tendo chegado ao Brasil a partir de 1998 (Brito/Coelho Filho 2005). Entretanto, devido ao elevado custo das EFDs comerciais – da ordem de milhares de dólares – e à falta generalizada de recursos financeiros, em geral, os programas acadêmicos brasileiros que oferecem em seus *currícula* matérias relacionadas à fotogrametria apresentam escassez de equipamentos modernos. Em consequência, estudantes e pesquisadores raramente têm acesso a equipamentos fotogramétricos de última geração. Além disto, mesmo em instituições com recursos suficientes para a aquisição de EFDs comerciais, os pesquisadores e estudantes não raramente encontram-se impossibilitados de incorporar às mesmas novos algoritmos, que porventura estejam sendo desenvolvidos, devido a arquitetura fechada das EDF proprietárias. Portanto, sua utilização com finalidades didáticas e de pesquisa é demasiadamente limitada.

Por outro lado, é importante observar que, apesar de todos os avanços de aplicações de *software* livre no ambiente acadêmico, a área de fotogrametria digital permanece ainda hoje como um campo praticamente inexplorado, fato que reafirma o caráter inovador do projeto E-FOTO, que desenvolve um ambiente integrado para o ensino de fotogrametria digital em *software* livre que incorpora uma EFD educacional.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma visão geral do desenvolvimento e das principais repercussões obtidas pelo projeto E-FOTO até o COBRAC 2006.

2 O Projeto E-FOTO

O projeto E-FOTO tem por objetivos a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de um ambiente para o ensino e auto-aprendizagem de fotogrametria digital, a partir de duas premissas básicas (Brito/Coelho Filho 2002): (1) a liberdade dos programas componentes, em consequência da utilização da licença GNU/GPL e; (2) do livre uso da documentação associada, sob licença GNU/FDL – tudo acessível no endereço eletrônico www.efoto.eng.uerj.br.

O Projeto E-FOTO teve seu início marcado por um projeto de final de curso de Graduação em engenharia cartográfica no Instituto Militar de Engenharia, em 2002 (Coelho Filho 2002). Atualmente, o projeto E-FOTO está em andamento no contexto do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação, área de Concentração Geomática (PGEC Geomática), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Nesta instituição, contando com suporte financeiro do CNPq, torna-se um projeto interdisciplinar, agregando pesquisadores e alunos, tanto de graduação, quanto de pós-graduação, com diferentes formações.

A vertente principal do projeto E-FOTO envolve o desenvolvimento e o gerenciamento de uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional (EFD) segundo o paradigma do *software* livre. Em linhas gerais, EFDs executam diferentes tarefas do fluxo de trabalho fotogramétrico, cada uma realizada por um diferente **módulo** – subsistema da EFD. O projeto E-FOTO desenvolve e disponibiliza o único ambiente para ensino e auto-aprendizado de Fotogrametria Digital livre e integrado por uma EFD educacional.

Outro aspecto do projeto que deve ser destacado corresponde à filosofia de auto-aprendizado, considerando três níveis de interação entre o usuário e o sistema. No nível 1, enquadram-se os usuários que desejam apenas realizar alguma tarefa fotogramétrica utilizando os executáveis. Os documentos de ajuda *on-line* dos módulos, que abrangem sua utilização e os conceitos básicos de fotogrametria associados, foram concebidos para atender às necessidades deste grupo. Os usuários do nível 2 desejam também entender o funcionamento dos algoritmos. Para isso, contam com um livro eletrônico, *e-book*, em fotogrametria digital (Brito/Coelho Filho 2005) que cobre os principais temas da fotogrametria. Sob a forma de um tutorial, o *e-book*, cujo estudo não requer conhecimento prévio de fotogrametria, apresenta, além dos princípios teóricos, as equações, algoritmos e comparações entre métodos e resultados. No nível 3, após os níveis 1 e 2, os interessados podem participar ativamente do projeto, melhorando o código, enviando sugestões e desenvolvendo novos módulos, textos e algoritmos.

3 Modelagem da Estação Fotogramétrica Digital Educaional

A análise e projeto orientado a objetos (APOO) do conjunto do processo fotogramétrico, modelo orientado a objetos da EFD educacional, abordado na presente seção, destina-se principalmente aos usuários dos

níveis 2 e 3. Seu desenvolvimento é tema da dissertação de mestrado do aluno Rodrigo Jardim Monteiro da Fonseca, em andamento no PGEC Geomática da UERJ.

A figura 1 apresenta o diagrama de classes UML da EFD do projeto E-FOTO, produzido durante a APOO. Diagramas de Classes UML apresentam uma coleção de classes e suas inter-relações no domínio de um dado problema, expressando a estrutura estática do sistema. Sua utilização permite a distribuição das estruturas de dados e das funcionalidades necessárias.

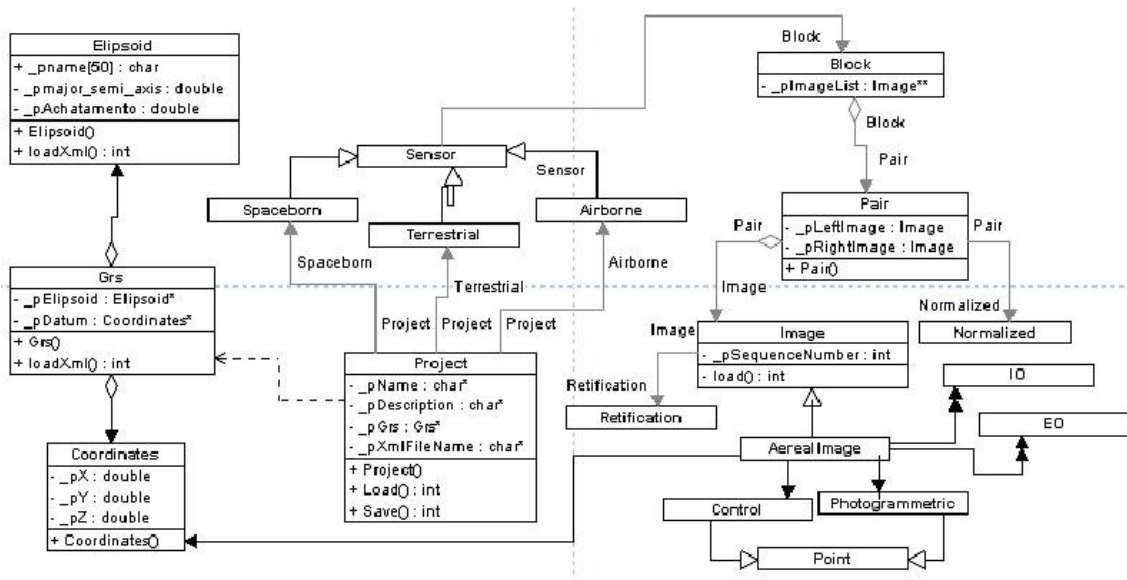


Figura 1. Diagrama de classes da EFD educacional

Neste contexto, **classe** corresponde a um modelo genérico, em *software*, que traduz o conjunto de características (dados) e comportamentos (métodos) comuns a uma categoria de entidades do mundo real ou abstrato.

No centro da porção inferior da figura 1, pode ser observada a classe *Project*, que compreende a estrutura para a representação de projetos fotogramétricos. Esta classe possui uma relação de dependência com a classe *Grs*, que modela Sistemas Geodésicos de Referência, e associação com uma das subclasses da hierarquia de sensor – *Spaceborn*, *Terrestrial* e *Airborn*. Desta forma, a APOO permite a definição de projetos baseados em imagens obtidas por sensores carregados por plataformas aéreas, orbitais (satélites), ou terrestres fixas (Brito/Coelho Filho 2005).

4 Implementação

O modelo definido pela APOO, apresentado na seção anterior, corresponde à recentemente iniciada implementação da geração 2 da EFD. Dentre as classes implementadas, podem ser enumeradas: **Project**, **Coordinates**, **Elipsoid**, e **Grs**. A geração 1 do projeto E-FOTO, que não segue a mesma APOO, está sendo finalizada. Dentre os módulos atualmente disponíveis na página, se encontram: **Orientação Interior**; **Orientação Exterior**; **Visualização e Medição Estereoscópicas**; **Intersecção Espacial**; **Extração do Modelo Numérico de Elevações**; **Restituição Digital**; e **Ortorectificação**. O módulo de **Normalização** está sendo finalizado. Apesar das diferenças, ambas as linhas de desenvolvimento seguem o paradigma da orientação a objetos, utilizando a linguagem C++ em ambiente de *software* livre com base na plataforma *linux*. As interfaces gráficas da geração 1 empregam a biblioteca Qt, versão 3, com licenciamento para código aberto. Entretanto, está previsto, para o desenvolvimento da interface gráfica da geração 2, o uso da versão 4 da Qt.

5 Resultados Obtidos

Como exemplo dos resultados do projeto, serão apresentadas descrições sucintas dos módulos desenvolvidos até o presente momento:

5.1 Retificação

O módulo de retificação foi concebido para que o usuário da EFD educacional possa acompanhar visualmente os resultados de diversas transformações geométricas (Bernardo Filho *et al.* 2004). Assim, é possível comparar os resultados produzidos pelos diferentes métodos e escolher a transformação mais adequada ao problema.

O módulo de retificação aborda seis tipos de transformações geométricas de imagens 2D, além de quatro soluções de interpolação de pixels. O usuário pode acompanhar o desenrolar de sua transformação geométrica, visualmente e através de um relatório que mostra os parâmetros de entrada, os valores intermediários e os parâmetros da qualidade do procedimento. A figura 2 apresenta a tela principal deste módulo.

5.2 Orientação Interior

O módulo de orientação interior tem por objetivo a reconstrução do feixe perspectivo da câmara fotogramétrica utilizada na obtenção das imagens fotogramétricas. Então, é estabelecida uma relação entre coordenadas digitais (*pixels*) e as coordenadas analógicas (milímetros), para que seja possível realizar qualquer cálculo sobre as imagens. Além disso, o usuário passa a ter informações quanto à precisão deste ajustamento, por intermédio de matrizes de variância e covariância. Desta forma, o usuário poderá refinar seu trabalho até atingir a precisão requerida para o seu projeto fotogramétrico.

O usuário necessita para esta operação o certificado de calibração de cada câmara utilizada na obtenção da imagem fotogramétrica, além, obviamente, das próprias imagens fotogramétricas digitalizadas. A figura 3 apresenta a tela principal deste módulo.

5.3 Orientação Exterior

A orientação exterior irá relacionar o sistema de câmara (reconstruído na orientação interior) com o terreno imageado no instante da tomada da imagem fotogramétrica, através da determinação dos seis parâmetros que regem a posição do centro de perspectiva na tomada da foto – posição tridimensional e rotações nos três eixos (Brito/Coelho Filho 2005).

O módulo de orientação exterior tem como finalidade a obtenção desses seis parâmetros para cada imagem obtida. Estes valores são fundamentais para o projeto, como para o cálculo de um ponto no espaço 3D (interseção espacial) e a normalização da imagem.

Para a utilização deste módulo, o usuário terá que ter realizado o processo de orientação interior para cada imagem fotogramétrica utilizada no projeto, bem como realizar um trabalho de campo para obtenção de coordenadas 3D de alguns pontos de controle ou ter estes dados à disposição, onde haja, pelo menos, quatro deles por área de sobreposição, em um par de imagens fotogramétricas. A figura 4 apresenta uma das telas do módulo de orientação exterior.

Assim como no módulo de orientação interior, é possível ter-se a precisão dos cálculos por intermédio de matrizes de variância e covariância, para que uma certa precisão seja atingida.

5.4 Visão e Medição Estereoscópicas

O módulo em questão permite realizar tanto a visualização 3D quanto a medição estereoscópica, tendo sido tema de dissertação de mestrado de Marcelo Teixeira Silveira (Silveira 2005), desenvolvida no âmbito do PGEC Geomática, da UERJ. O objetivo deste trabalho foi a recriação do modelo de medição

fotogramétrica realizado a partir de um par de imagens, um estereoscópio e uma barra de paralaxe. Para isto, foi estudada a adaptação de técnicas de visualização em estereoscopia para um sistema digital.

Este módulo permite a medição da altura de objetos nas imagens através de duas técnicas de visualização: separação espacial e separação espectral (Brito/Coelho Filho 2005). Para a visualização tridimensional a partir de separação espacial, deverá ser utilizado um estereoscópio de bolso. Para o modo de separação espectral, utiliza-se um par de óculos anaglifo comum. Este módulo é a base para todos os módulos a seguir que envolvam medições e visualização tridimensional. Uma das telas desse módulo é apresentada na figura 5.

5.5 Interseção Espacial

Para um dado par de imagens fotogramétricas, uma vez conhecidos os parâmetros de orientação interior e exterior de cada imagem, e a partir das coordenadas um ponto em questão nas duas imagens (pontos homólogos), pode-se obter as coordenadas 3D deste ponto no terreno através das equações de colinearidade (Brito/Coelho Filho 2005). A interseção espacial é fundamental para os módulos de extração do Modelo Numérico de Elevações e de Restituição Estereoscópica.

A partir de um par de imagens digitalizadas a 300 DPI, foram realizados alguns testes para a obtenção de coordenadas 3D no terreno. Os resultados da interseção espacial foram comparados então com os resultados de um restituidor Kern PG-2, obtendo-se resultados bem próximos ao desse restituidor analógico.

5.6 Extração do Modelo Numérico de Elevações

A extração do modelo numérico de elevações tem como por objetivo criar uma malha de pontos obtidos através de interseção espacial, que represente espacialmente uma determinada área de interesse. Dessa forma, outros produtos podem ser obtidos deste trabalho, como a visualização virtual 3D do terreno através de computação gráfica, a geração de orto-imagens etc.

É desejável que se obtenha a extração automática do modelo numérico de elevações. Para tal, o computador deverá localizar pontos homólogos no par de imagens fotogramétricas em questão. Utiliza-se o método estatístico de correlação de Pearson para tal finalidade. Porém, devido a problemas inerentes ao imageamento em perspectiva cônica como, por exemplo, a oclusão de um ponto homólogo em outra imagem devido à mudança da geometria de objetos, ou até mesmo a mudança do nível de cinza devido à presença de sombras, este método não consegue atingir seu objetivo conforme o esperado. Desta forma, este módulo realiza a extração do MNE de forma semi-automática, onde o usuário localiza os pontos homólogos manualmente. A criação de um *grid* de apoio e o cálculo da interseção espacial são feitos pelo sistema. O produto final é uma grade irregular de pontos 3D. Um aspecto da tela deste módulo é mostrado na figura 6.

O módulo de extração do MNE apresenta uma ferramenta de busca de pontos homólogos por correlação, para que sejam comparados os resultados da correlação com a medição manual de pontos. Assim que novas técnicas de localização automática de pontos homólogos sejam implementadas, será possível incorporá-las ao módulo, tornando-o um sistema automático de extração do modelo numérico de elevações.

5.7 Restituição Digital

A restituição objetiva a representação das diversas feições naturais e artificiais presentes no terreno. Para tal, extraem-se as coordenadas no espaço-objeto, de modo a compor a base cartográfica da região de interesse, em uma dada escala, em formato vetorial (Brito/Coelho Filho 2005). Portanto, através deste módulo, pode-se obter feições em 3D, como pontos, linhas e polígonos, para posterior utilização em trabalhos de SIG e de CAD.

Para a restituição de uma feição cartográfica de interesse, o usuário inicialmente seleciona um tipo de geometria (ponto, linha ou polígono), insere sua descrição textual (toponímia) e, em seguida diante da observação estereoscópica do modelo fotogramétrico, insere o(s) respectivo(s) ponto(s) que irão

materializar o contorno da feição em questão. Um aspecto da tela do módulo de restituição é mostrado na figura 7.

5.8 Ortorretificação

O módulo de ortorretificação tem como por objetivo transformar uma imagem em perspectiva cônica para a perspectiva ortogonal. A imagem em projeção ortogonal, ao contrário da projeção central, pode ser tomada como um documento cartográfico, podendo ser empregada em qualquer atividade que demande um mapa ou carta topográfica ou fonte de dados similar (Brito/Coelho Filho 2005).

Para a geração de um orto-imagem, recebe-se uma grade regular do MNE, gerando-se uma orto-matriz vazia, com o mesmo tamanho do MNE. Para cada elemento da matriz da orto-imagem, tem-se os valores de X, Y e Z do MNE e, através das equações de colinearidade, obtém-se o nível de cinza equivalente da imagem fotogramétrica original. O algoritmo utilizado mostrou-se bastante eficiente em relação de performance, uma vez que obteve o resultado da ortorretificação de uma imagem fotogramétrica em um tempo menor que 10 segundos em um computador Pentium IV 2.8 GHz, considerando-se uma área de superposição longitudinal de 60 % e uma imagem fotográfica digitalizada a 300 DPI. A figura 9 mostra o resultado de uma ortorretificação realizada.

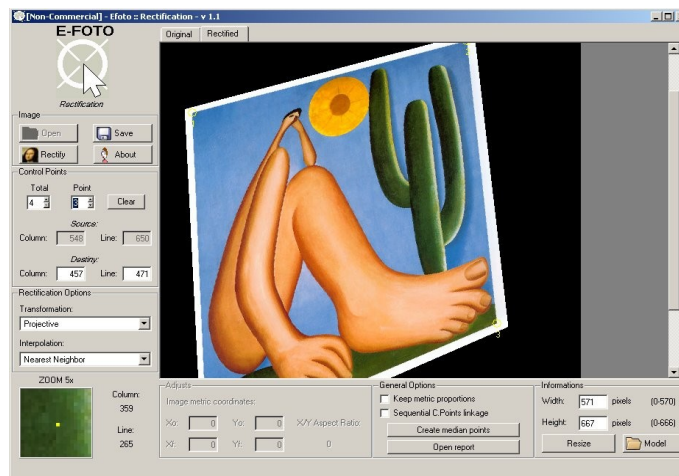


Figura 2. Módulo de Retificação.

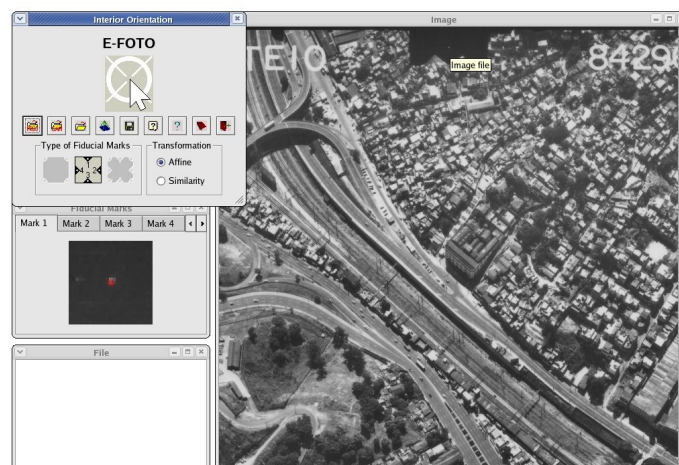


Figura 3. Módulo de Orientação Interior.

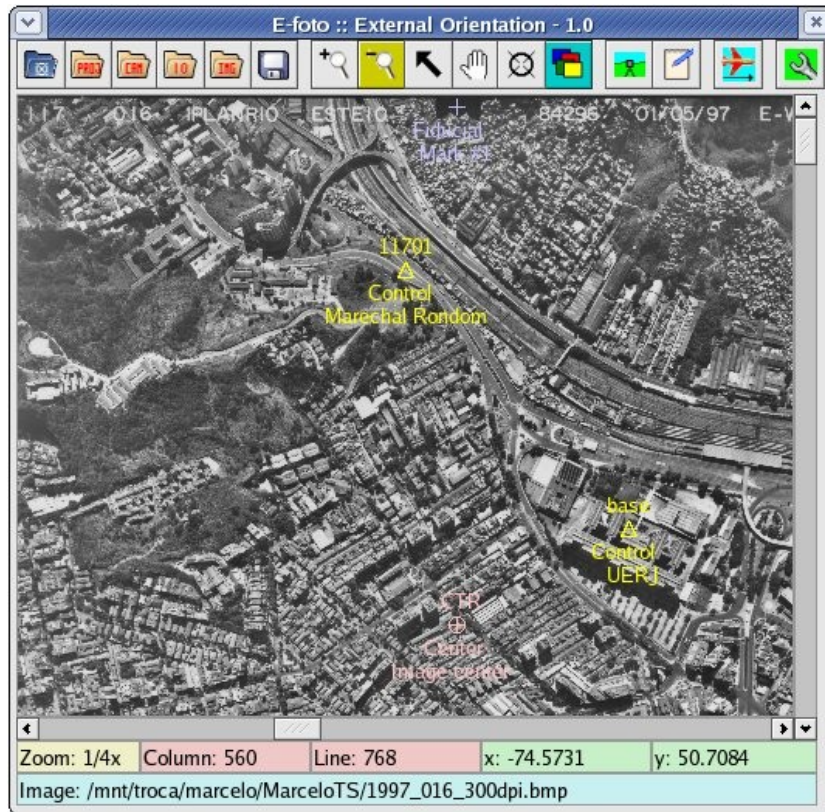


Figura 4. Módulo de Orientação Exterior.

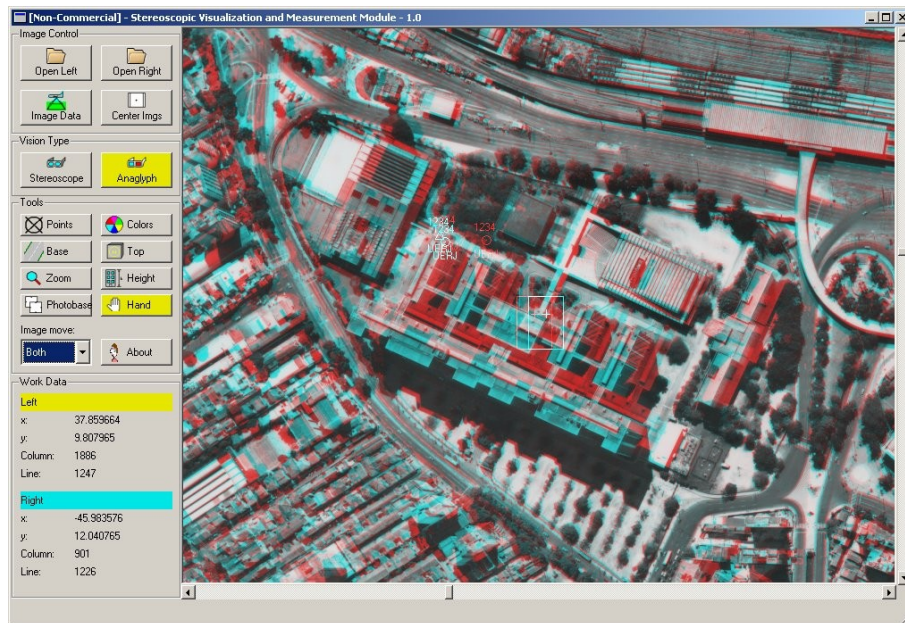


Figura 5. Módulo de Visualização.



Figura 6. Módulo de Extração de MNE.

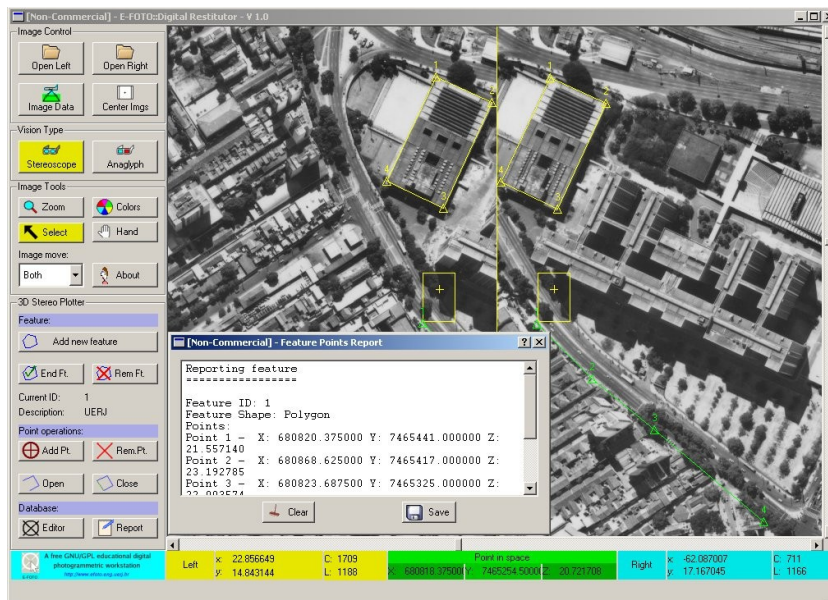


Figura 7. Módulo de Restituição.



Figura 8. Ortorretificação.

6 Perspectivas Futuras

Paralelamente à implementação da geração 2, o modelo produzido na APOO vai sendo aperfeiçoado. Há a expectativa de que este trabalho facilite a colaboração de desenvolvedores externos e torne mais efetiva a integração dos módulos. Este modelo norteará as implementações das interfaces dos módulos da geração 2 da EFD educacional.

Pelo lado dos usuários, há um grande potencial de utilização deste sistema por estudantes universitários, tanto em nível de graduação quanto de pós-graduação. Uma prova desta tendência é o aumento do número de acessos mensais à página do projeto, que saltou de uma média de 150, em agosto de 2005, para cerca de 1000, em fevereiro de 2006.

Outra característica importante do projeto E-FOTO é a formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de *software* livre em ambiente cooperativo. É importante frisar o fato de que, para muitos dos desenvolvedores, inclusive dentre os atualmente entusiastas do *software* livre, o projeto E-FOTO foi o primeiro contato regular com esta filosofia. Desta forma, a partir do ambiente universitário, o projeto tem contribuído para o crescimento da comunidade de *software* livre brasileira.

7 Conclusão

O projeto E-FOTO, que visa o desenvolvimento de um ambiente educacional para o ensino e auto-aprendizado de fotogrametria digital, leva os benefícios dos princípios das tecnologias livres a um campo do conhecimento carente dessa abordagem. Sobretudo, deve ser salientado seu caráter pioneiro e inovador, já que este projeto desenvolve um dos poucos ambientes GNU/GPL integrados por uma EFD educacional disponível para o ensino e auto-aprendizado nesta área.

Como resultados do projeto, devem ser listadas a EFD educacional, os respectivos manuais de utilização, a produção bibliográfica e o *e-book* GNU/FDL sobre fotogrametria digital (Brito/ Coelho Filho 2005). Os programas e todo material restante podem ser acessados livremente na página www.efoto.eng.uerj.br. Deve ser destacado que o desenvolvimento deste ambiente tem grande importância para o avanço do conhecimento no campo da fotogrametria digital no Brasil, permitindo que estudantes e pesquisadores se familiarizem com o uso e desenvolvimento de algoritmos fotogramétricos. Assim, os interessados neste tema não ficam limitados a pacotes fechados, criados por empresas que, estrategicamente, mantêm suas soluções em segredo.

Outro aspecto importante do projeto é a formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de *software* livre em ambiente cooperativo e a propagação da filosofia do conhecimento livre.

8 Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sua gratidão pelo apoio institucional e financeiro recebido da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

9 Referências

Bernardo Filho, O.; Ribeiro, J.A.; da Silva, R.P.; Brito, J.L.N.S.; Bastos, D.L.: *E-FOTO: Módulo de Retificação de Imagens em uma Estação Fotogramétrica Digital*, In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia – GO, Brasil 2004.

Brito, J.L.N.S.; Coelho Filho, L.C.T.: *The E-Foto Project: An Educational Digital Photogrammetric Workstation*. In: ISPRS Commission VI Mid Term Symposium on New approaches for Education and Communication, São José dos Campos 2002.

Brito, J.L.N.S.; Coelho Filho, L.C.T.: *Fotogrametria digital*, e-book, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, www.efoto.eng.uerj.br, 2005.

Coelho Filho, L.C.T.: *Projeto E-FOTO: Uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional*, Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Cartográfica - Instituto Militar de Engenharia. 55 páginas, 2002.

Kraus, K.: *Photogrammetry v. 1: Fundamentals and Standard Processes*, Dümmlerbuch, Vienna, 398 páginas, 2000.

Silveira, M.T.: *Visualização e Medição Estereoscópicas em Imagens Fotogramétricas Digitais*, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 104 páginas, 2005.