

PROJETO E-FOTO: UMA ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL EDUCACIONAL

LUIZ CARLOS TEIXEIRA COELHO FILHO¹
JORGE LUÍS NUNES E SILVA BRITO^{1,2}

¹IME / DE/6 – Instituto Militar de Engenharia / Departamento de Engenharia Cartográfica
Praça General Tibúrcio 80 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil
lcoelho@universiabrasil.net

²UERJ / DEPART – Universidade do Estado do Rio de Janeiro / Faculdade de Engenharia /
Departamento de Engenharia Cartográfica
Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã – Rio de Janeiro – RJ, Brasil
jsilvabr@barralink.com.br

Abstract. This paper describes the current development of a set of photogrammetric software, with the aim to develop an educational photogrammetric softcopy kit. Its main objective is to diminish the gap that exists nowadays between the teaching of Photogrammetry and Remote Sensing in universities and Research Institutions of developing countries and the high-tech expensive systems that are used under the production environment. Also, accompanying the software, there is an extensive teaching material, including the online help, the e-book on Digital Photogrammetry and the support homepage of the project.

Keywords: distant learning, photogrammetry, free software

1. Introdução

Entende-se por fotogrametria o estudo da reconstrução do espaço tridimensional (espaço-objeto) através de imagens bidimensionais (espaço-imagem). Tal ciência encontrou especial utilidade na Engenharia Cartográfica, uma vez que pode ser usada para reconstruir a superfície terrestre, bem como as inúmeras feições que se encontram sobre a mesma.

Pode-se dizer que, durante muitos anos, esta ciência foi considerada a fonte mais prática para a obtenção de dados cartográficos. Como consequência, muitos equipamentos opto-mecânicos foram criados, levando aos conhecidos restituidores analógicos e analíticos. No final dos anos oitenta, um pequeno grupo de empresas mantinha o monopólio do setor, enquanto outras, menores, também tentavam dividir tal mercado, oferecendo suas próprias soluções. Todas elas, porém, requeriam um certo nível de componentes ópticos e/ou mecânicos, acarretando em preços muito altos para a aquisição de tais máquinas, tornando-as, assim, disponíveis apenas para grandes empresas e instituições que fossem usá-las efetivamente na produção intensiva de cartas e produtos afins.

Nenhuma informação adicional sobre os métodos de fabricação destes aparelhos era fornecida e muitas universidades e centros de pesquisa (em especial aqueles situados em países em desenvolvimento) não tinham condições de ter o equipamento mais avançado para conduzir seus projetos de ensino e pesquisa. Desse modo, o ensino de fotogrametria, muitas vezes era restrito aos princípios teóricos e à utilização de restituidores de segunda-mão.

Durante os anos noventa, entretanto, uma grande revolução no mundo da fotogrametria foi vista. Os primeiros instrumentos totalmente digitais foram criados, devido aos avanços da tecnologia computacional, que permitiram a manipulação em tempo real de grandes arquivos matriciais de imagens. O estado-da-arte da fotogrametria é representado hoje em dia pelas inúmeras técnicas de fotogrametria digital, que pode ser descrita como a reconstrução automática do espaço-objeto através de imagens, utilizando-se, para isso, de imagens digitais ou digitalizadas e de métodos e processos computacionais.

O aparelho capaz de executar todas estas tarefas em conjunto chama-se estação fotogramétrica digital, que nada mais é que uma estação de trabalho voltada para a execução de tarefas fotogramétricas. Entre essas tarefas, pode-se destacar as seguintes: módulo de definição de projeto, pré-processamento das imagens obtidas, orientação interior com delimitação de parâmetros do certificado de calibração da câmara, orientação exterior, aerotriangulação analítica (por feixes perspectivos), retificação e normalização de imagens, extração semi-automática de um modelo de elevações do terreno, ortorretificação e restituição em ambiente CAD.

Tal tecnologia começou a ser utilizada em larga escala a partir de 1995, tendo chegado ao Brasil principalmente a partir de 1998. Hoje em dia, pode-se dizer que a maior parte das instituições produtoras de dados cartográficos a emprega largamente, ou pretende fazê-lo no mais curto período de tempo possível. A utilização e domínio da mesma torna-se, então, essencial nos órgãos formadores de profissionais habilitados a trabalhar junto à produção cartográfica atual.

2. Motivação

Tendo em vista os fatores anteriormente descritos, pode-se compor um pano de fundo para a situação em fotogrametria digital no Brasil.

Em geral, os cursos que oferecem matérias relacionadas a fotogrametria apresentam uma escassez de equipamentos modernos, decorrente de uma falta de recursos generalizada. Conseqüentemente, a maioria dos engenheiros formados saem sem nenhum treinamento formal em fotogrametria digital.

No IME, a Estação DVP encontra-se defasada de sete anos, e o Kit SSK é alugado apenas por determinado período. Em revanche, houve um domínio da tecnologia adquirido nos últimos cinco anos, uma vez que os algoritmos de fotogrametria digital são, em geral, descritos nos manuais do gênero.

Por fim, um projeto como este necessita de quatro componentes principais: pessoal, equipamento (computadores) e uma linguagem de programação que seja capaz de processar tais processos, além, é claro, do conhecimento, que atua como peça integradora dos três primeiros (Figura 1). Examinando esse diagrama, percebe-se que já se dispõe, no próprio IME, dos pré-requisitos necessários para a elaboração de um projeto deste porte, podendo o mesmo ser dividido em etapas, a curto e médio prazo, e estando o presente projeto enquadrado no primeiro caso.

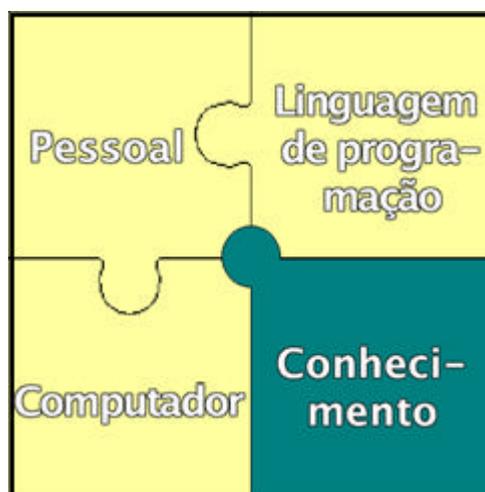


Figura 1 – Componentes do Projeto

3. O Projeto E-FOTO – Objetivos e Metodologia

O conceito básico do Projeto E-FOTO envolve o desenvolvimento e o gerenciamento de uma Estação Fotogramétrica educacional.

A configuração de uma estação fotogramétrica digital envolve vários módulos, que executam diferentes tarefas do fluxo de trabalho fotogramétrico. No caso de E-FOTO, os seguintes módulos foram definidos (Figura 2): Pré-processamento de imagens; Definição de parâmetros de projeto; Calibração de câmara; Orientação interior monoscópica; Aerotriangulação analítica (resseção espacial + interseção espacial de um bloco de imagens); Extração de um modelo digital do terreno; Ortoretificação; Restituição digital (em ambiente CAD).

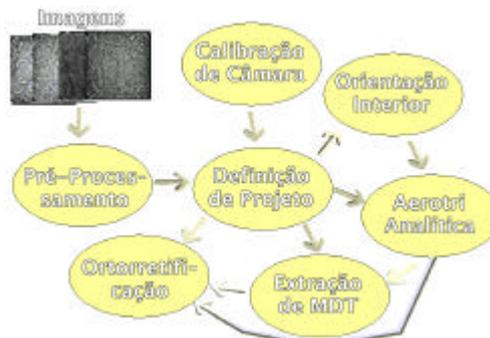


Figura 2 – Diagrama Avançado do Projeto

Na escolha dos componentes, foi priorizada a abordagem monoscópica (ou seja, sem exibição estereoscópica) na maior parte dos casos, de modo a não limitar o projeto a determinadas peças de hardware específicas. A aerotriangulação escolhida foi pelo método analítico, usando os princípios baseados na equação de colinearidade (resseção espacial e interseção espacial), que permitem a realização da orientação exterior em conjunto com a própria aerotriangulação, sem a necessidade de execução das etapas relativa e absoluta em separado, que demandavam um ajustamento baseado na eliminação de paralaxes em z e y.

A abordagem educacional é expressa, principalmente, por dois pilares básicos: a gratuidade (liberdade) dos componentes e o auto-aprendizado (Figura 3).



Figura 3 – Princípios Básicos do Projeto E-FOTO

Liberdade: Entre as várias licenças que se enquadram na categoria "software livre", foi escolhida a GNU GPL (GNU *General Public License*) para os programas e a GNU FDL (GNU *Free Documentation License*) para os textos elaborados. Para desenvolver os

algoritmos fotogramétricos, foi escolhida a linguagem C++, dada a maior popularidade da sintaxe C, aliada à capacidade de orientação a objeto, o que facilita bastante o trabalho de programação. Aliado a isso, é utilizada a ferramenta Qt, que é, ao mesmo tempo, uma classe de biblioteca C++ e uma caixa de ferramentas GUI (*Graphic User Interface*). A escolha do Qt deu-se devido à sua gratuidade (livre para Unix e disponível em versão não-comercial para Windows) e por ser multiplataforma. Desse modo, todos os componentes podem ser compilados nos ambientes Unix, Windows e Macintosh livremente, obviamente, possuindo-se a versão do Qt para cada sistema operacional e um compilador C++ de qualidade (recomendam-se o G++ para Unix e o Visual C++ para Windows).

Auto-Aprendizado: A filosofia de auto-aprendizado pressupõe a existência de três níveis que delimitam diferentes esferas de interação entre o usuário e o sistema (Figura 4).



Figura 4 – Níveis de Aprendizado

No nível 1, enquadram-se os usuários que desejam apenas realizar alguma tarefa fotogramétrica, utilizando, para isso, os executáveis. Para isso, há uma ajuda online de cada um dos módulos, que abrange sua utilização e conceitos básicos de fotogrametria.

No nível 2, além de meramente aprender como utilizar os programas, o usuário quer entender o funcionamento dos mesmos. Para isso, ele conta com o *e-book* em fotogrametria digital (Figura 5), que cobre todos os temas principais da fotogrametria. Neste tutorial, é dado o enfoque auto-explicativo, ensinando não apenas os princípios teóricos, mas também a montagem das equações e algoritmos, além de comparações entre diferentes métodos e resultados. Na confecção do texto, é priorizada a abordagem de auto-aprendizagem, assim, a disciplina é apresentada de tal modo que não é necessário nenhum conhecimento prévio em fotogrametria. Além disso, para aqueles que têm acesso à Internet, a *homepage* da Área de Atuação "Fotogrametria Digital" apresenta toda a bibliografia nesta área desenvolvida no DE/6, bem como o estado atual do projeto E-FOTO (<http://e-foto.sourceforge.net>) (Figura 5).



Figura 5 – e-Book em Fotogrametria Digital, página da área de Atuação Fotogrametria Digital e Página do Projeto E-FOTO

No nível 3, com o entendimento adquirido nos níveis 1 e 2, os mais interessados podem participar ativamente do projeto, melhorando o código, enviando sugestões e desenvolvendo novos módulos e textos.

Como consequência, o usuário, ao final do terceiro nível, estará preparado para o entendimento do processo de produção em um ambiente totalmente digital. A fotogrametria digital não será mais um mistério para ele, e o abismo que separa os conceitos ensinados nas universidades e a realidade da prática das empresas será bastante minimizado. Mais importante que isso será a habilidade de criar e de desenvolver senso crítico, pois o usuário/estudante não será um mero usuário - pelo contrário, ele (ou ela) terá aprendido os conceitos do funcionamento de uma estação fotogramétrica digital.

4. Resultados (até Nov 02)

Quanto ao *software* desenvolvido, os seguintes módulos já encontram-se disponíveis em inglês e português: módulo de abertura, parâmetros do projeto, configuração de câmera, orientação interior e medição digital. Cabe ressaltar que eles podem ser baixados a partir da página do projeto (<http://e-foto.sourceforge.net>), e encontram-se disponíveis tanto como fontes (compiláveis em qualquer sistema que dê suporte ao Qt) ou como executáveis Win32. O *site* do projeto também encontra-se indexado em <http://www.freegis.org> (figura 6), logo, pode-se acessá-lo também através deste portal.

O programa de parâmetros de projeto (figura 7) permite a inserção dos dados básicos relacionados a sistemas de medidas, parâmetros da Terra e tolerâncias de fechamento de iterações posteriores.

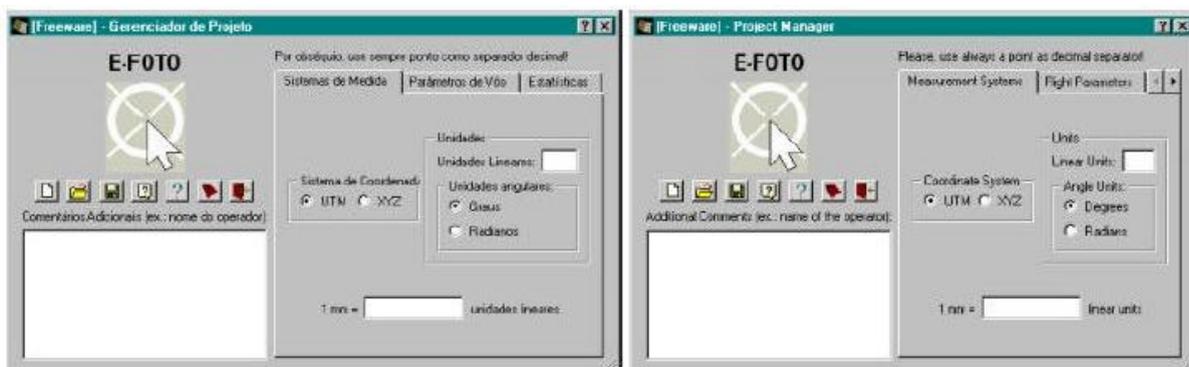


Figura 7 – Configuração de Projeto (versões em português e inglês)

Os arquivos de configuração gerados na saída de cada um dos programas são no formato texto (.txt), podendo ser usados como relatórios da execução de cada uma das etapas, uma vez que o próprio texto dos mesmos é auto-explicativo.

Convém ressaltar que todos os programas possuem telas de ajuda, bem como acesso direto ao *e-book* (sem contar o acesso pela página do projeto, que será melhor explicado posteriormente) e uma breve explicação quanto ao propósito do projeto (Figura 8). A ajuda *online* provê explicações simples relativas ao funcionamento dos próprios programas, ao passo que o *e-book* é a fonte de consulta relativa a Fotogrametria Digital, e que deve ser consultado sempre que surge uma dúvida conceitual sobre o assunto. Além disso, o enfoque dado na descrição dos algoritmos segue o padrão usado na composição do código dos programas. A janela “sobre E-FOTO” apenas serve para, como já dito, inteirar o usuário quanto aos princípios do projeto com o qual ele está colaborando, seja como usuário nível 1, nível 2 ou nível 3.



Figura 8 – Janelas de ajuda, acesso ao e-book e “sobre E-FOTO” (versões em português e inglês)

O programa de configuração de câmera (Figura 9) permite a inserção de dados cruciais advindos do certificado de calibração de câmera, tais como: coordenadas do ponto principal calibrado, distância focal calibrada, coordenadas das marcas fiduciais, arranjo destas (quatro nos cantos, quatro nos centros ou oito marcas), etc. Possui funcionalidades semelhantes às já descritas para o programa anterior.

O programa de orientação interior (Figura 10) realiza este processo, que vem a ser a reconstrução dos feixes perspectivos no momento de tomada da imagem, permitindo a reconstrução do sistema de coordenadas de câmera para qualquer ponto da imagem, relacionando as coordenadas das marcas fiduciais preconizadas pelo certificado de calibração

e as coordenadas do sistema de imagem (pixel – linha e coluna) através de um modelo matemático adequado. O programa permite a localização automática das marcas, e exibe os parâmetros estatísticos do modelo adequado, seja a transformação afim, ou a de similaridade.

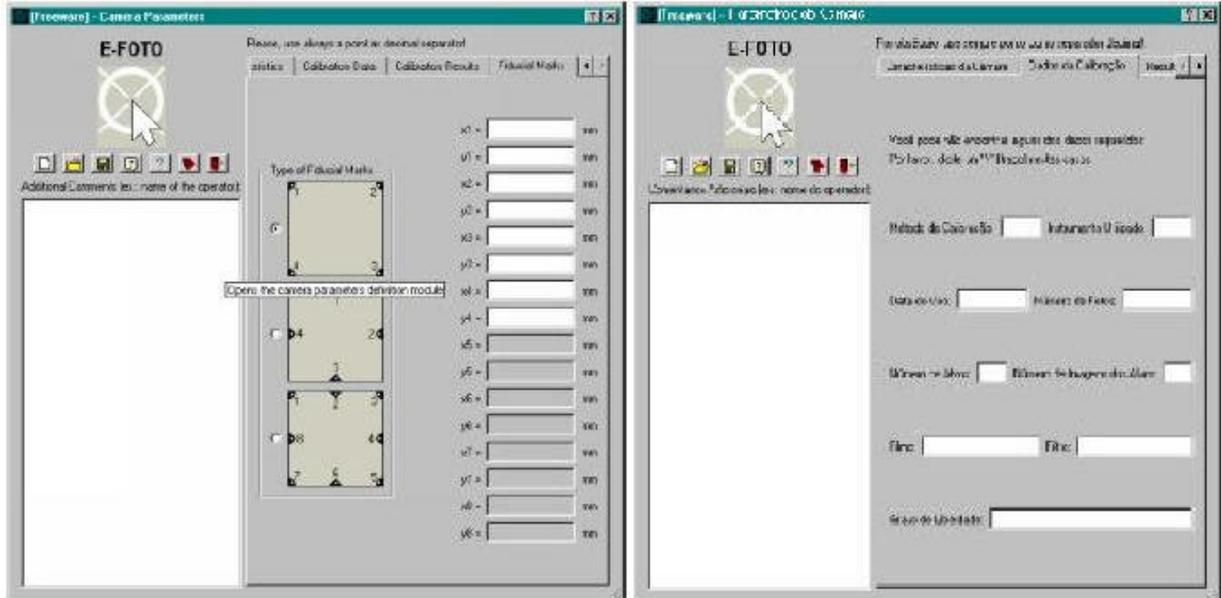


Figura 9 – Parâmetros de Câmera (versões em português e inglês)

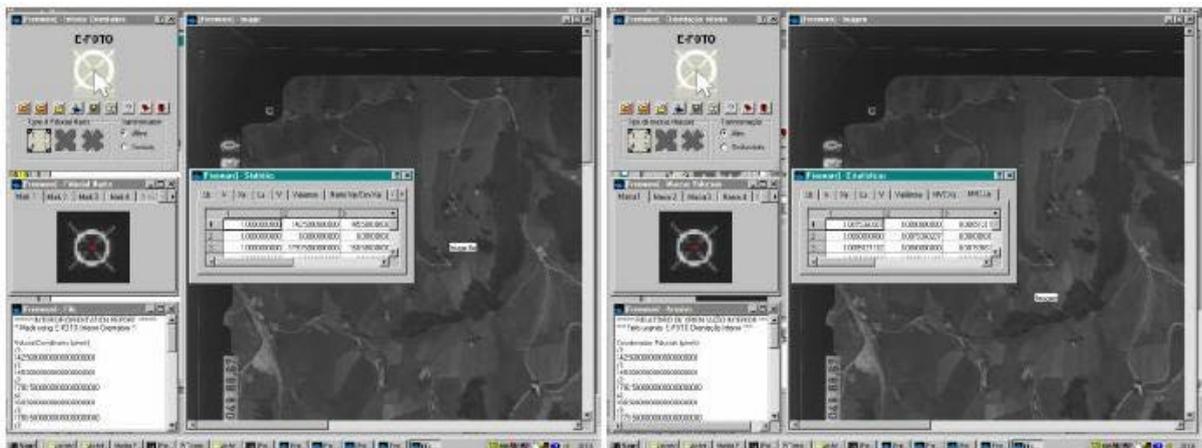


Figura 10 – Orientação Interior (versões em português e inglês)

O último módulo (Figura 11) desenvolvido até então prevê a medição digital dos pontos de gruber de pares estereoscópicos de imagens, dentro de um mesmo bloco. As coordenadas destes pontos são salvas em arquivo, para processamento em lote na aerotriangulação.

O *e-book* em Fotogrametria Digital está em sua primeira edição, com os dez capítulos completos, faltando apenas seus quatro apêndices. Pode ser baixado integralmente, no formato .pdf, da página do projeto, cujo endereço já foi citado anteriormente. Encoraja-se o uso do mesmo como fonte de consulta para fotogrametria digital em geral, sendo permitida a cópia da sua versão impressa livremente. Atualmente, está sendo utilizado em dois cursos universitários como fonte de consulta.

A página de suporte está no ar, recebendo um número constante de visitas e mensagens. Planeja-se ampliar alguns setores da mesma que ainda estão deficitários.

