

A estação fotogramétrica digital educacional livre E-FOTO e seu impacto na formação de recursos humanos

Guilherme Lucio Abelha Mota, Neide dos Santos, Jorge Luís Nunes e Silva Brito,
João Araújo Ribeiro, Orlando Bernardo Filho, Elaine Martins Santos,
Rogério Luís Ribeiro Borba, Rodrigo Jardim Monteiro da Fonseca

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação Geomática
Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro – RJ – Brasil
guimota@eng.uerj.br, neide@ime.uerj.br, jsilvabr@gmail.com, araujo@eng.uerj.br,
orlandob@gmail.com, elaine-msantos@ig.com.br, rogerioluisribeiro@yahoo.com.br,
jardim_rodrigo@yahoo.com.br

Abstract. The privacy of source code makes, in many situations, commercial application software unable to academic purposes. Such applicative programs are like “black-boxes”, allowing only data input and results output, as a function of the graphical user interface manipulation. It strongly hinders their application to education, since users remains alienated of what exactly is performed in the applicative background. A common proposal for overcoming such limitations is the development and usage of free software. The academic community of distinct knowledge areas is, indeed, being benefited by educational and research free-software development. However, Digital Photogrammetry is a field that remains practically unexplored. One exception is the E-FOTO project, which develops the only GNU/GPL environment for research, teaching and learning of Digital Photogrammetry that encompasses an Educational Digital Photogrammetric Workstation. E-FOTO project aims at producing and sharing without limitations with the academic community software and documents. This paper is devoted to the pedagogical design of E-FOTO Educational Digital Photogrammetric Workstation, besides the project main achievements and repercussions. Along this paper, it will be shown what tasks of the photogrammetric process are to be covered by the Educational Digital Photogrammetric Workstation, the free electronic version of the only digital photogrammetry book edited in Brazil, the software tutorials and the self learning conception of E-FOTO. Finally, the future expectations for this project are enumerated.

Palavras-chave: digital photogrammetry, digital photogrammetric workstation, education; fotogrametria digital, estação fotogramétrica digital, educação.

1. Introdução

O ensino tecnológico requer uma nova visão, mudando o foco vigente, se passando a valorizar o aprender a aprender de forma autônoma e a ambiência científica e tecnológica (Longo, 2001). Os desafios da educação nas engenharias podem ser enfrentados com uma abordagem integrada de ensino e pesquisa, onde o computador desempenhe papel marcante, permitindo aos alunos elaborar e testar hipóteses alternativas, pondo em prática seus modelos, construir uma variedade de representações sobre os fenômenos estudados, utilizando diversas modalidades de linguagem e níveis de abstração e modelar e experimentar eventos lentos ou rápidos, muito caros, complexos ou perigosos, mudando escalas e valores. Um outro aspecto interessante a ser considerado é o trabalho cooperativo, onde os alunos tenham a oportunidade de compartilhar suas suposições, suas formas de resolução de problemas e seus resultados.

No campo das engenharias, um componente crítico no ensino da engenharia cartográfica é o processo de ensino e aprendizagem da fotogrametria digital, Coelho Filho e Brito (2007). Este artigo apresenta e discute os aspectos técnico-pedagógicos do projeto E-FOTO, cujos objetivos são a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de um ambiente para o ensino e auto-aprendizagem de fotogrametria digital. Com este propósito, a seção 2 apresenta os fundamentos do ensino de fotogrametria digital. A seção 3 apresenta uma visão geral do projeto sobretudo de seus aspectos pedagógicos. A seção 4 expõe as conclusões do trabalho e as perspectivas futuras do projeto relacionadas ao desenvolvimento de ferramentas educacionais.

2. Fundamentos do Ensino de Fotogrametria Digital em Ambiente Acadêmico

Fotogrametria é o conjunto de técnicas e rotinas de processamento de imagens fotográficas, visando à modelagem e à reconstituição do espaço tridimensional (espaço-objeto) por intermédio de imagens bidimensionais (espaço-imagem). O estado da arte da fotogrametria é representado pela fotogrametria digital, que emprega imagens digitais ou digitalizadas e métodos e processos computacionais.

O uso da fotogrametria digital vai da Realidade Virtual à Medicina. Como exemplo, pode-se mencionar a quantificação volumétrica de nódulos pulmonares a partir de imagens de um tomógrafo helicoidal, Mota e Brito (2005), passando pelo levantamento não-invasivo de sítios arqueológicos e monumentos históricos, denominada fotogrametria arquetônica, Kraus (2000). Na Engenharia Cartográfica a fotogrametria digital é empregada para a reconstrução da superfície terrestre, bem como de sua cobertura.

No contexto da fotogrametria digital, o equipamento capaz de executar o conjunto de tarefas fotogramétricas denomina-se Estação Fotogramétrica Digital (EFD), Brito e Coelho Filho (2005). EFDs são soluções de software, que a partir dos anos 90, vieram a substituir as tarefas realizadas através de aparatos fotogramétricos óptico-mecânicos e que cumpriram um papel revolucionário para esta área do conhecimento, Phem e Grabmaier (2004). Além disto, o desenvolvimento da eletrônica e da computação tem aberto novas oportunidades nas áreas de instrumentalização, metodologia e integração.

Vários fatores têm contribuído para o rápido desenvolvimento da fotogrametria digital, Dowman et al. (1991) citam: (1) a disponibilidade crescente de imagens digitais, em especial sensores de satélites; (2) a disponibilidade de estações de trabalho/computadores com grande capacidade de processamento e com muitos periféricos inovadores e confiáveis; (3) a integração de dados em um único sistema computacional como os sistemas de informação geográfica (SIGs); (4) as aplicações em tempo real; e (5) os programas de CAD (*computer-aided design*) e as aplicações industriais.

Uma dificuldade para a inserção destes avanços na aprendizagem da fotogrametria digital corresponde ao alto custo das licenças das EFDs. Esta realidade impõe restrições para a unidade, no processo pedagógico, do conhecimento teórico com a prática e experimentação do comportamento dos fenômenos estudados, fator importante no ensino das engenharias de forma geral. Com a introdução intensiva do uso do computador no ambiente de produção cartográfica, duas competências precisam ser desenvolvidas pelo ensino da fotogrametria em ambiente acadêmico. Por um lado, os algoritmos e a fundamentação matemática dos procedimentos, juntamente com a análise dos parâmetros matemáticos para a avaliação da qualidade dos resultados. Por outro, há necessidade do entendimento conceitual das tarefas necessárias para a realização da seqüência de etapas do processo fotogramétrico numa EFD.

O desenvolvimento exclusivo da primeira competência mencionada anteriormente forma profissionais carentes de experiência prática. Por outro lado, a falta de entendimento dos algoritmos realizados a cada operação forma profissionais acríticos e com dificuldade de se adaptarem às evoluções desta área do conhecimento. A arquitetura fechada e o segredo com que são guardados muitos dos algoritmos empregados nas versões educacionais das EFDs comerciais carregam a responsabilidade por esta limitação, Brito et al. (2006).

Segundo Coelho Filho e Brito (2007), o núcleo básico de assuntos relacionados à fotogrametria digital compreende: (1) Introdução à fotogrametria; (2) Princípios básicos de fotogrametria; (3) Tópicos em processamento de imagens aplicados à fotogrametria; (4) Orientação interior; (5) Orientação exterior; (6) Fototriangulação analítica; (7) Retificação e normalização de imagens; (8) Geração de modelos numéricos de elevações; (9) Geração de ortoimagens; e (10) Restituição fotogramétrica digital. A Tabela 1 compara os conteúdos de um curso de reciclagem e três disciplinas de pós-graduação em fotogrametria digital, com os módulos da Estação Fotogramétrica Digital Educacional (EFDE) desenvolvida pelo E-FOTO.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, grande parte do conteúdo do núcleo básico de assuntos relacionados à fotogrametria digital é coberto pela EFDE. Portanto, o ambiente educacional do projeto E-FOTO cria condições para que o aluno analise os conteúdos pedagógicos, manipule variáveis e possa relacionar variáveis com o comportamento dos algoritmos envolvidos na solução do problema, bem como a representação matemática da solução. O estudo de ortorretificação, por exemplo, tem como objetivo a transformação de imagens em perspectiva cônica para perspectiva ortogonal. Segundo a concepção de formação profissional do projeto, não é produtivo, apresentar a perspectiva cônica e a seguir a ortogonal, sem deixar claro que leis e algoritmos regem tal transformação. A seguir, a seção 3 descreve o projeto E-FOTO.

Tabela 1. Quadro comparativo dos cursos de fotogrametria digital

<i>Tópicos</i>	<i>Cursos ou disciplinas</i>				<i>EFDE</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	
Conceitos introdutórios.	X	X	X	X	
Aquisição de imagens.	X		X	X	
Retificação de Imagens			X		X
Orientação Interior	X	X	X	X	X
Orientação Exterior	X	X	X	X	X
Fototriangulação	X	X			X
Processamento de imagens Digitais e Template Matching	X			X	
Geometria epipolar e normalização da imagem	X		X	X	X
Geração de modelos digitais de terreno e superfície	X	X	X	X	X
Geração de Ortoimagens	X	X	X	X	X
Restituição fotogramétrica 3D manual e/ou automática		X		X	X
Fotogrametria não-topográfica e de curta distância.	X				

(1) Disciplina Fotogrametria Digital – Mestrado em Engenharia Geográfica- Universidade de Coimbra, Portugal <https://woc.uc.pt/matematica/course/infocurso.do?idcurso=48>

(2) Curso de Reciclagem em Fotogrametria Digital ITC, Holanda – Destinado a Profissionais Africanos, Phem e Grabmaier (2004)

(3) Disciplina Fotogrametria Digital – Mestrado em Engenharia de Computação / Geomática – Uerj, Brasil http://www.geomatica.eng.uerj.br/nunes/_media/fotodigpgec2008-i.pdf?id=fotogrametria_digital&cache=cache

(4) Disciplina Fotogrametria Digital – Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas – Unesp, Brasil www4.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/disciplinas/foto_digital.pdf

3. O Projeto E-FOTO

A tecnologia da fotogrametria digital começou a ser utilizada em larga escala a partir de 1995, tendo chegado ao Brasil a partir de 1998, Brito e Coelho Filho (2005). Entretanto, devido ao elevado custo das EFDs comerciais – da ordem de milhares de dólares – e à falta generalizada de recursos financeiros, os programas acadêmicos brasileiros que oferecem em seus *currícula* disciplinas relacionadas à fotogrametria apresentam escassez de equipamentos

modernos. Em conseqüência, 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 pedagógicas 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 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. De fato, este projeto disponibiliza a única EFD livre (licença GNU/GPL) existente atualmente.

O projeto E-FOTO tem cunho educacional, científico e tecnológico. Seus objetivos consistem na pesquisa, no projeto e na implementação de um ambiente para o ensino, auto-aprendizagem e pesquisa de fotogrametria digital, a partir de duas premissas básicas: (1) a liberdade dos programas componentes, em conseqüência da utilização da licença GNU/GPL e; (2) o livre uso da documentação associada, sob licença GNU/FDL (in www.efoto.eng.uerj.br).

O Projeto E-FOTO teve início no Instituto Militar de Engenharia, em 2002, Coelho Filho (2002). Atualmente, está em andamento no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação, área de Concentração Geomática, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj). Nesta instituição, contou com suporte financeiro do CNPq e tornou-se um projeto interdisciplinar, agregando pesquisadores e alunos, tanto de graduação, quanto de pós-graduação, com diferentes formações.

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 aprender a realizar tarefas fotogramétricas utilizando os executáveis. Os tutoriais 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* (Brito e Coelho Filho, 2005) que cobre os principais temas da fotogrametria. O estudo do *e-book* não requer conhecimento prévio de fotogrametria e apresenta, além dos princípios teóricos, as equações, algoritmos e comparações entre métodos e resultados. No nível 3, os interessados podem participar do projeto, melhorando o código, enviando sugestões e desenvolvendo novos módulos, textos e algoritmos.

O envolvimento de estudantes de graduação de engenharia de computação confere ao projeto outra característica importante: a formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de software livre em ambiente cooperativo. Para universalizar e homogeneizar o conhecimento da equipe, principalmente no tocante ao desenvolvimento de tecnologias livres, a definição de cada etapa do projeto carrega dentro seus objetivos o desenvolvimento das habilidades de cada participante. Desta forma, a partir do ambiente universitário, o projeto contribui para o crescimento da comunidade de desenvolvedores de software livre.

3.1. Os Módulos Educacionais da EFD do E-FOTO

A Figura 1 apresenta a visão geral do processo de trabalho numa EFD. Através da decomposição na direção horizontal da figura anteriormente mencionada, o processo de trabalho pode ser subdividido em 3 grupos: (1) cadastro dos dados de entrada; (2) cálculos e transformações geométricas; (3) obtenção de resultados. A EFDE é composta de 7 módulos,

cada um voltado ao ensino de uma etapa do processo fotogramétrico, grupos de operações (2) e (3) anteriormente mencionados.

Os módulos do projeto E-FOTO são apresentados na Figura 2: (a) Módulo de Retificação de Imagens; (b) Módulo de Orientação Interior; (c) Módulo de Orientação Exterior; (d) Módulo de Fototriangulação; (e) Módulo de Normalização de Estereogramas; (f) Módulo de Restituição Fotogramétrica Digital; (g) Módulo de Modelo Numérico de Elevações e Ortorectificação.

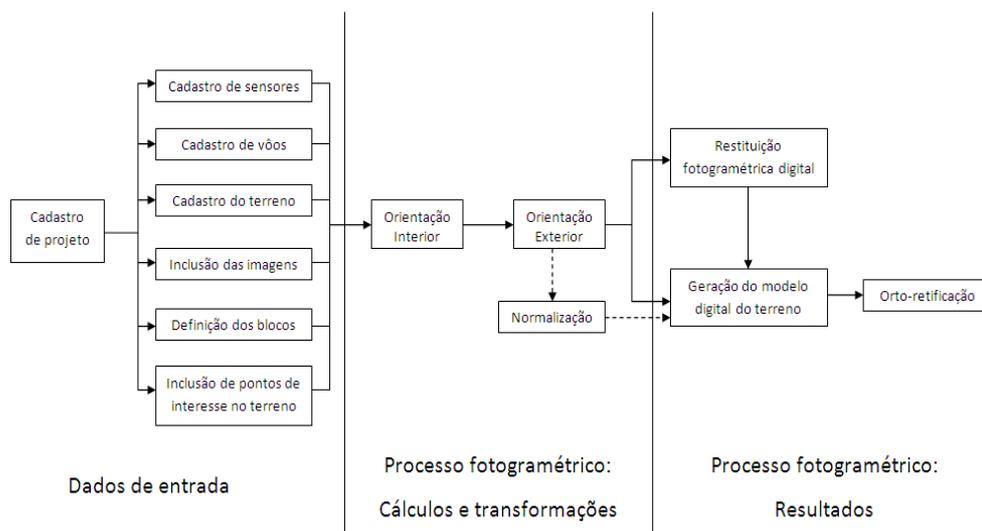


Figura 1. Visão geral do processo de trabalho numa EFD

Além dos 7 módulos da EFD desenvolvidos em software livre GNU/GPL, o E-FOTO tem outros resultados a apresentar como: 3 Dissertações de Mestrado concluídas e 4 em andamento; 7 Projetos de Conclusão de Curso concluídos e 5 em andamento, 24 artigos em artigos em congressos, no período de 2005 a 2007, um *e-book*: (2 autores) e 1 livro impresso. A repercussão do projeto pode ser dimensionada pelo número de acessos à página web do E-FOTO <www.efoto.eng.uerj.br>. Média mensal de acessos nos últimos 12 meses: 1086

3.2. Considerações sobre o Enfoque Educacional do E-FOTO.

Para apoiar a construção do conhecimento do estudante de fotogrametria, a plataforma educacional E-FOTO se vale do conceito de auto-aprendizado. Para tanto, o aluno é apresentado aos tutoriais sobre os tópicos do domínio, interage com outros estudantes e desenvolve em grupo soluções de software para problemas de fotogrametria digital, dentro de uma comunidade de usuários de software livre.

O principal aspecto de nosso enfoque de auto-aprendizado é levar os alunos a explorar os recursos disponíveis na plataforma, construindo os nexos necessários através da colaboração entre usuários. De toda forma, a proposta do desenvolvimento de uma ferramenta de *e-learning* está nos levando a discutir alguns aspectos pedagógicos de E-FOTO.

Verificamos que, de um modo geral, o ensino de engenharia não se fundamenta em um projeto pedagógico voltado para a formação integral e crítica dos alunos, sendo quase sempre um ensino baseado nas técnicas. Na visão de Ignácio, ainda persiste na educação superior a metodologia tecnicista, onde os alunos são considerados como “tabulas rasa”, o que equivale a dizer que se valoriza principalmente o adestramento da memória e a mera reprodução dos conhecimentos, tanto para avaliação como para promoção. Uma alternativa a esta educação é uma educação onde os alunos são sujeitos ativos de sua aprendizagem. Uma base teórica que dá sustentação a este ponto de vista é a teoria construtivista. Esta teoria crê que o conheci-

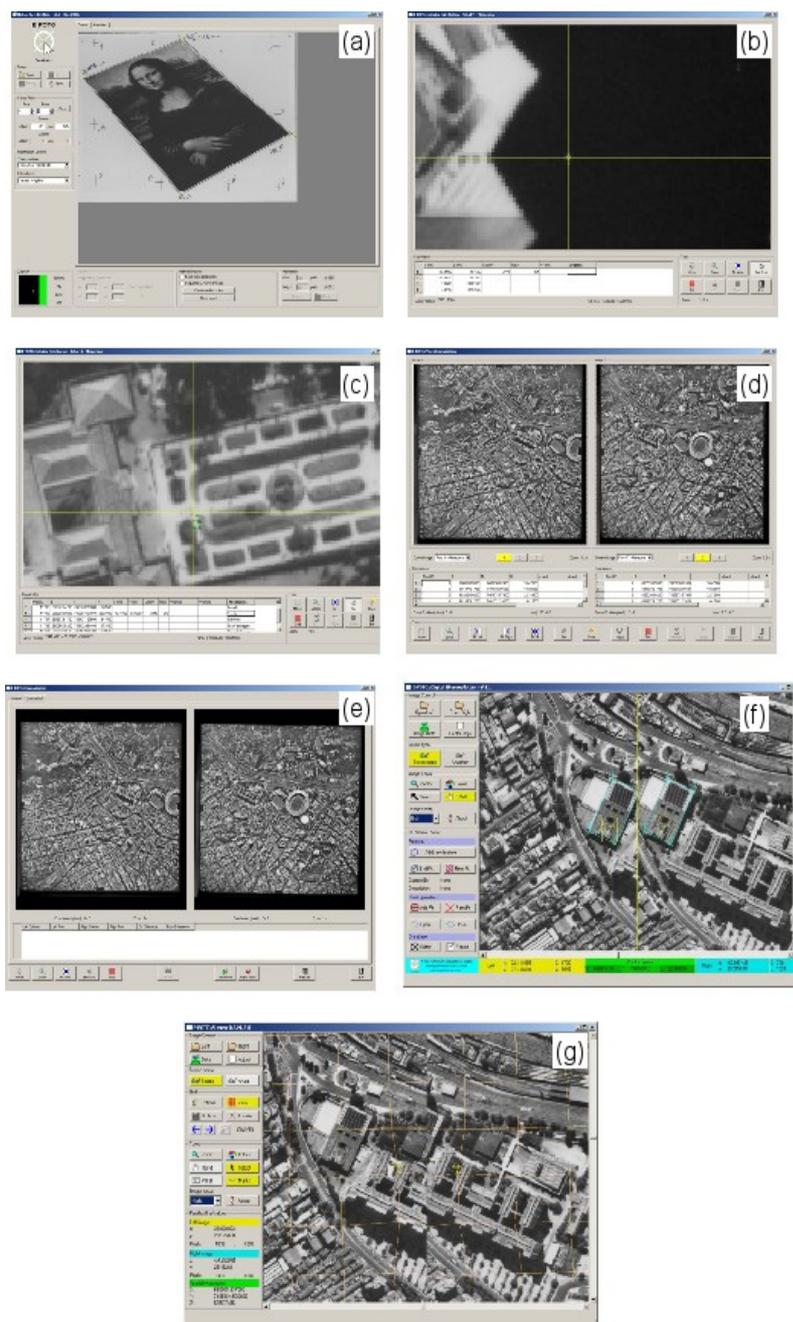


Figura 2. Módulos da EFDE (a) retificação; (b) orientação interior (c) orientação exterior; (d) fototriangulação; (e) normalização de esterogramas; (f) restituição 3D; (g) modelo numérico de elevações e ortoretificação

mento que possuímos não é "sobre" o mundo, mas uma parte "constitutiva" desse mundo. O conhecimento não é um objeto fixo, mas ele é construído pelo indivíduo com base na sua própria experiência desse objeto. A aproximação do construtivismo à aprendizagem realça a necessidade de desenvolvimento de projetos estimulantes que envolvam alunos, professores, especialistas, em comunidades de aprendizagem. O seu objetivo é criar comunidades de aprendizagem que estejam relacionadas com as práticas colaborativas do mundo real. Num ambiente desta natureza, os alunos assumem a responsabilidade da sua própria aprendizagem e têm de desenvolver competências metacognitivas.

A colaboração é um ponto chave nas teorias construtivistas, pois quando as pessoas trabalham colaborativamente em uma atividade autêntica, elas trazem as suas próprias

estruturas e perspectivas à atividade. Podem analisar um problema de diferentes prismas e podem negociar e produzir significados e soluções com base na compreensão partilhada.

Serão requisitos a serem atendidos no desenvolvimento da ferramenta de *e-learning* que ora começa a ser projetada para o E-FOTO, a adoção de uma visão construtivista da aprendizagem, materializada na oferta de espaços de participação e cooperação, no incentivo à formação de comunidades de prática, na oferta de problemas autênticos, no respeito às experiências acadêmicas e pessoais que os alunos já possuem e na possibilidade dos problemas propostos serem representados em diferentes formatos, como por exemplo, soluções gráficas, matemáticas e computacionais.

4. Conclusão e Expectativas Futuras

O projeto E-FOTO oferece diversas contrapartidas à sociedade. A principal delas é o desenvolvimento do ambiente para ensino e pesquisa, que tem grande importância para o avanço do conhecimento no campo da fotogrametria digital em nosso país, pois permite que estudantes e pesquisadores se familiarizem com o uso e desenvolvimento de algoritmos fotogramétricos. Através deste projeto, os interessados não ficam limitados a pacotes fechados, criados por empresas que têm como estratégia a manutenção do segredo e controle do conhecimento da fotogrametria.

A filosofia do E-FOTO vai muito além da expansão da filosofia de software livre. O compartilhamento de seus resultados é o embrião da constituição de um *commons* que enfatiza a democratização do acesso à fotogrametria digital. Segundo Silveira (2007), a idéia de *commons* está revolucionando a produção simbólica da humanidade e tem a capacidade de ampliar a liberdade, a criatividade e a democracia. O E-FOTO é um exemplo disto.

Ainda que a infra-estrutura de pesquisa desenvolvida pelo projeto esteja consolidada e disponível, podem ser antevistos desdobramentos bastante promissores. Um deles é a avaliação das interações dos usuários finais com a plataforma, visando colher resultados educacionais qualitativos e quantitativos. Outro desdobramento é o desenvolvimento de uma ferramenta da *e-learning*. Um aspecto chave na concepção educacional do E-FOTO foi a idéia de auto-aprendizado, mas tal idéia vem evoluindo para o desenvolvimento de ferramentas para aprendizagem assistida. A idéia geral de um ambiente de *e-learning* para o projeto E-FOTO é aproveitar os conteúdos educacionais já elaborados e as ferramentas de visualização e experimentação desenvolvidas e integrá-las para promover atividades educacionais. No momento está sendo iniciado o desenvolvimento deste ambiente *e-learning* para o projeto E-FOTO. O intuito é produzir um sistema dinâmico, interativo e auto-explicativo de educação à distância através da *web* com software livre. Pretende-se que seja uma oportunidade de oferecer à sociedade brasileira acesso ao aprendizado em fotogrametria digital, de forma sistematizada incluindo aulas, avaliação *on-line*, auto-avaliação, canais de comunicação para trabalho cooperativo e mecanismos para a formação de comunidades virtuais.

5. Referências

- Brito, J. L. N. e S.; Coelho Filho, L. C. T. The E-FOTO Project - A digital photogrammetric softcopy kit for educational purposes. In: Proc. 6th Geomatic Week Proceedings, 2005, Barcelona, Spain. **Anais...** Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/doku.php?id=en:articles>>007.pdf> . Acesso em: 14 nov. 2008.
- Brito, J. L. N. e S.; Coelho Filho, L. C. T.; Silveira, F. J. C.; Mota, G. L. A.; Bernardo Filho, O.; Ribeiro, J. A.; Silveira, M. T.; Fonseca, R. J. M. Projeto E-FOTO: O Desenvolvimento de um Ambiente Integrado para o Ensino de Fotogrametria Digital em Software Livre. In: FISL 2006, Abril 19-21, 2006, Porto Alegre, RS, Brasil. **Anais...** Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/doku.php?id=pt-br:articles>> 017.pdf> Acesso em: 14.nov.2008.
- Coelho Filho, L. C. T. **Projeto E-FOTO: Uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional**. 2002. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto Militar de Engenharia. 2002.

Coelho Filho, L. C. T.; Brito, J. L. N. e S. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2007, 196 p.

Dowman, I.J.; Ebner, H.; Heipke, C. Overview of European Developments in Digital Photogrammetric Workstations. In: ISPRS Workshop on Design Issues of Softcopy Photogrammetric Workstations, March 21-22, 1991, Boulder, Colorado, USA. **Anais...**

Gomes, C.M.A.(s/d). Softwares educacionais podem ser instrumentos psicológicos. Disponível em: <<http://pepsic.bvs-psi.org.br/pdf/pee/v11n2/v11n2a16.pdf>> . Acesso em: 08.ago. 2008.

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

Longo, W. P. "Reengenharia" do Ensino de Engenharia: Uma necessidade, 2001. Disponível em: <<http://www.engenheiro2001.org.br/programas/971207a.doc>> . Acesso em: 08.ago. 2008.

Mota, G. L. A.; Brito, J. L. N. e S. **Projeto Tomógrafo: Cálculo do Volume de Nódulos Pulmonares a Partir de Imagens de um Tomógrafo Helicoidal**. Projeto de Fixação de Pesquisador FAPERJ (em andamento). Rio de Janeiro - RJ. 2005

Phem, S.; Grabmaier, K. Refresher Course on Digital Photogrammetry. In: ISPRS Congress, July 12-23, 2004, Istanbul, Turquia. **Anais...** Disponível em: <<http://www.isprs.org/congresses/istanbul2004/comm6/comm6.aspx>> . Acesso em: 14 nov. 2008.

Salomon, G.; Perkins, D. N.; Globerson, T. Partners in cognition: extending human intelligence with intelligent technologies. **Educational Researcher**, v. 20, n. 3, p. 2-9, 1991.

Silveira, S. A. Redes virais e espectro aberto: descentralização e desconcentração do poder comunicacional. In: Sergio Amadeu da Silveira. (Org.). **Comunicação digital e a construção dos commons: redes virais, espectro aberto e as novas possibilidades de regulação**. São Paulo: Editora Fundação Perseu Abramo, 2007. v. 1, p. 21-55.