

# Estudo e análise da ortoretificação de fotografias aéreas

Marisa Freitas Furtado<sup>1</sup>, Simone Sayuri Sato<sup>2</sup>, Irineu da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profª. Msc. Coordenadora do Curso de Geoprocessamento, ICET, Centro Universitário Feevale - E-mail: marisafreitas@feevale.br; <sup>2</sup>Profª. Dra., Wild Comercial Ltda - E-mail: simone@wildcomercial.com.br; <sup>3</sup>Prof. Dr., Curso de Transporte, Engenharia Civil, EESC-USP - E-mail: irineu@leicabr.com.br.

## Resumo

A necessidade de obter informações com qualidade sobre o nosso planeta vem se tornando uma exigência cada vez maior no mercado da geotecnologia. Essas informações devem apresentar um padrão mínimo de qualidade para que possam ser usadas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Este trabalho trata de conceitos fundamentais para a realização e análise da ortoretificação digital de fotos aéreas. As operações para esse fim, a captação da imagem (Scanner), orientação e processamento dos dados. A crescente busca pela ortofoto deve-se às características de imagem exclusivas deste tipo de produto que equivale a um mapa de linha e permite ver exatamente o objeto imagem e não símbolos representativos. Finalmente, este trabalho apresenta os resultados preliminares do estudo da qualidade das ortofotos geradas, automaticamente, pelos sistemas fotogramétricos digitais SO CET SET e DVP, comparados com os dados levantados no campo a partir do uso de um sistema GPS Tempo Real.

## Palavras-chave

Levantamento topográfico; sistema fotogramétrico; Ortofoto; MDT; GPS.

## Abstract

The necessity of obtaining qualified information about our planet is becoming an important requirement in the geotechnological market. These information must present a minimum quality standard that can be used in a geographic information system (GIS). This report is about the fundamental concepts for the accomplishment and analysis of the digital orthorectification of aerial photo, the operations for this objective, image reception (scanner), orientation and data processing. The increasing search through orthophoto is due to the characteristics of exclusive images of this type of product that is equal to a line map. It facilitates the exact view of the image object and not of

representative symbols. Finally, this report presents the preliminary results of the study of the quality of the orthophoto automatically generated by digital photogrammetric systems SOCET SET and DVP, compared with surveyed data in the field by the use of a Real Time GPS system.

## Key words

Topographic Surveying; photogrammetric system; orthophoto; DTM; GPS.

## Introdução

Como se sabe, uma ortofoto digital é o produto da retificação diferencial de imagens aéreas ou geradas a partir de satélites, através do uso de algoritmos de interpolação, baseando-se no uso de um modelo digital de terreno. Mais especificamente é o processo de transformação da projeção central da imagem (fotografia aérea rasterizada) em uma projeção ortogonal.

A concepção da ortofoto, enquanto método de aquisição de informações, data do início da século XX. No entanto, somente após a década de 50, suas vantagens foram disseminadas e o seu emprego tomou corpo.

Existem métodos analógicos e digitais de retificação de imagens. A ortofotografia convencional é uma imagem produzida através de fotografias aéreas convencionais e do uso de equipamentos analógicos de ortoretificação, já a ortofoto digital é produzida totalmente em meio digital.

A geração de uma ortofoto convencional é baseada na retificação diferencial realizada em aparelhos fotogramétricos de projeção óptico-mecânica (*on-line* e *off-line*), feita a partir da visualização do modelo estereoscópico. Nos equipamentos *on-line* (Wild ppo-8, Zeiss Ortho-3, etc.), a varredura e a sensibilização do negativo são simultâneas e a distância de projeção é regulada manualmente através da visualização do modelo estereoscópico pelo operador. Nos equipamentos *off-line* (Wild Avioplan OR1, Zeiss GZ1), a varredura e a sensibilização do negativo ocorrem em fases distintas e a regulagem da distância de projeção é realizada automaticamente.

A geração de uma ortofoto digital é realizada a partir da retificação diferencial baseada no “resampling” do par estereoscópico numerizado, de acordo com os deslocamentos do terreno devido ao relevo, segundo um DTM representativo desse relevo. As operações de rasterização, orientação e processamento dos dados são realizadas em ambiente digital.

## Justificativa

Não é segredo para ninguém o fato do Brasil ser, explicitamente, um país carente de mapas e de dados geográficos. A necessidade de um mapeamento sistematizado veio à tona, devido a recente onda de desestatização de companhias elétricas, telefônicas, rodovias, ferrovias, mineradoras, áreas de extrativismo e outras. Em muitos países, a empresa que adquire uma estatal recorre ao banco de dados do governo e lá pode encontrar uma base cartográfica confiável e atualizada. Aqui no Brasil, as empresas que adquirem bens, até então sob o poder do estado, e buscam dados cartográficos de suas aquisições, deparam-se com a dificuldade de encontrar mapas que, quando existem, estão defasados e desatualizados.

A ortofoto digital é um produto que pode, em curto prazo, ajudar a sanar um pouco essa defasagem. Segundo alguns técnicos de empresas de aerofotogrametria, as ortofotos digitais são, significativamente, mais baratas do que uma restituição fotogramétrica, cerca de 50%. Por isso, é importante que os geradores e os usuários de ortofotos digitais conheçam, com precisão, o tipo de material que podem ser gerados com a tecnologia atual.

## Objetivos do Trabalho

- Estudar os conceitos indispensáveis para a realização e a compreensão de uma ortofoto digital;
- Descrever as etapas a serem executadas para confeccionar uma ortofoto digital;
- Confeccionar ortofotos digitais e comparar os resultados das imagens com medições realizadas sobre o terreno, a fim de observar as diferenças de qualidade e de precisão, principalmente, com uma ortofoto gerada a partir de um modelo digital de terreno criado com pontos medidos sobre o terreno;
- Editar um relatório comparativo dos resultados obtidos.

## Metodologia

O desenvolvimento da pesquisa seguiu a metodologia a seguir:

- a) Realização da revisão bibliográfica, citada no item Bibliografia, principalmente para a familiarização com as rotinas computacionais de geração da ortofoto digitais e dos procedimentos matemáticos que são executados em etapas parciais da elaboração da ortofoto propriamente dita;
- b) Estudo para o uso dos programas aplicativos profissionais de fotogrametria digital SO-CET SET e DVP e suas sub-rotinas;
- c) Levantamento dos pontos de apoio para a orientação dos modelos estereoscópicos envolvidos na geração da ortofoto digital;
- d) Orientação dos modelos estereoscópicos nos equipamentos fotogramétricos digitais em uso;
- e) Levantamento dos dados de campo com o receptor GPS em Tempo Real.  
No levantamento busca-se:
  - coletar elementos que possibilitem a modelagem adequada do terreno (pontos e linhas de quebra do terreno);
  - obter dados de feições definidas no campo (construções, glebas, talhões e outros) a fim de que as medidas possam ser comparadas posteriormente com as medidas obtidas na ortofoto digital;
- f) Geração do modelo digital de terreno a partir de um programa aplicativo adequado;
- g) Confecção das ortofotos digitais comparativas a partir dos programas SOCET SET e DVP;
- h) Análise dos resultados obtidos a partir da comparação das ortofotos digitais com levantamentos sobre o terreno;
- i) Geração do relatório das comparações realizadas.

## Materiais usados

No desenvolvimento da pesquisa, foram usados os seguintes materiais:

- Receptor GPS marca Leica, tipo SR530, dupla frequência, Tempo Real, precisão de 1 centímetro, para o levantamento de dados do Modelo Digital do Terreno.
- Receptor GPS, SR 9400, uma frequência, precisão de 5 mm + 1 ppm, para o levantamento dos pontos de apoio para a orientação dos modelos estereoscópicos.
- Imagens digitais na escala 1:8000 da cidade de São Carlos. Vôo realizado em 1998.
- SOFTWARE fotogramétrico SOCET SET, da LH-Systems.
- SOFTWARE fotogramétrico DVP (Digital Video Plotter).
- SOFTWARE topográfico SOFTDESK\_CIVIL8.

## Descrição do trabalho

### Levantamento GPS Cinemático em Tempo Real (RTK)

O advento do modo de levantamento com o GPS, conhecido pela sigla RTK foi um acontecimento importante para a topografia. Com o GPS RTK é possível obter posicionamento ao nível centimétrico dentro de um ambiente de produção, em tempo real. A restrição é que deve existir um limite na distância entre a estação de referência e os receptores remotos, tipicamente de 10 km, e que deve existir conexão através de rádio.

Na estação base, onde são conhecidas as coordenadas geográficas, é instalado um receptor GPS RTK. Este é ligado via cabo em uma estação transmissora de rádio.



Figura 1 – Estação Base do GPS RTK SR530 da Leica.

A estação transmissora de rádio é composta por um tripé de madeira, uma bateria, um sistema de rádio e uma antena. Deverá estar estacionada de maneira que o sinal enviado pelo rádio possa ser captado sem interferências.

Neste trabalho, a estação de rádio e a estação de referência foram instaladas em cima da caixa d'água do Departamento de Transportes da EESC-USP.



Figura 2 – GPS RTK SR530 da Leica.

O levantamento com RTK proporcionou a coleta de dados com precisão de até 2 cm e a obtenção de uma quantidade significativa de pontos para a caracterização do relevo. Os dados levantados foram usados para a geração do Modelo Digital do Terreno (DTM) a partir do uso do programa aplicativo Softdesk\_Civil 8.

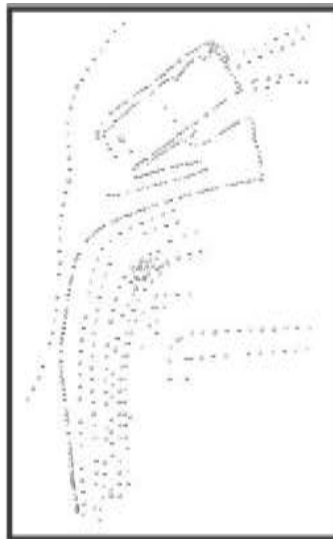


Figura 3 – Pontos medidos com o GPS RTK.

### **Geração do Modelo Digital do Terreno (DTM)**

Um modelo digital de terreno é definido como sendo um sistema informatizado que permite obter informações de elevação de um terreno a partir de uma rede de pontos medidos sobre esse terreno. A partir da nuvem de ponto levantada, é estabelecida uma função polinomial de interpolação do tipo  $Z=f(X, Y)$ , a partir da qual pode-se obter dados do relevo, tais como curvas de nível, perfis, vistas 3D e outros.

A maioria dos programas aplicativos para a geração de DTM usa, atualmente, o método dos elementos finitos para a geração das funções de interpolação. Dessa forma, o primeiro passo para a geração do DTM é o estabelecimento da rede de elementos finitos. Elas podem ser irregulares ou regulares, conforme apresentadas nas Figuras 4 e 5.

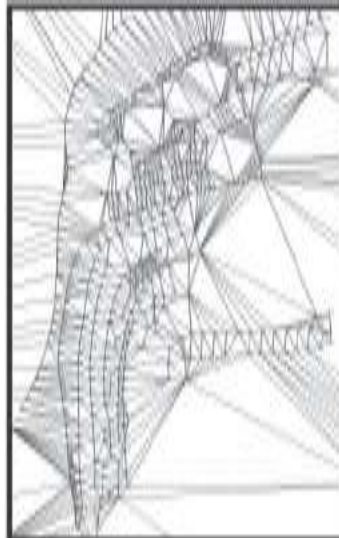


Figura 4 – Rede Irregular de elementos finitos.

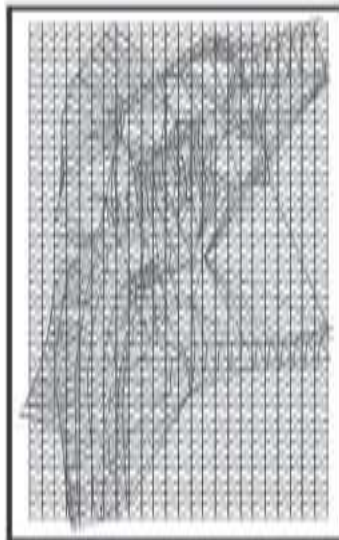


Figura 5 - Rede regular de elementos finitos (2,5m x 2,5m).

Os dados levantados em campo com o GPS RTK foram exportados para o programa aplicativo Softdesk a partir do programa SkiPro da Leica. Esse programa já possui uma rotina apropriada para a geração de dados em qualquer formato definido pelo usuário.

#### **Levantamento GPS Estático**

O levantamento estático foi utilizado para coleta de 8 (oito) pontos de apoio para a orientação do modelo estereoscópico. Cada ponto foi ocupado com uma duração de 20 minutos. A distribuição desses pontos foi feita de maneira a garantir a melhor cobertura da área de estudo.

#### **Ajustamento da Rede de pontos GPS**

Os pontos de controle foram medidos de maneira a estabelecerem uma rede GPS. O ajustamento dessa rede foi realizado considerando os oito pontos de controle e a base fixa estacionada em cima da caixa d'água do Departamento de Transportes da EESC - USP (vide Figura 6).

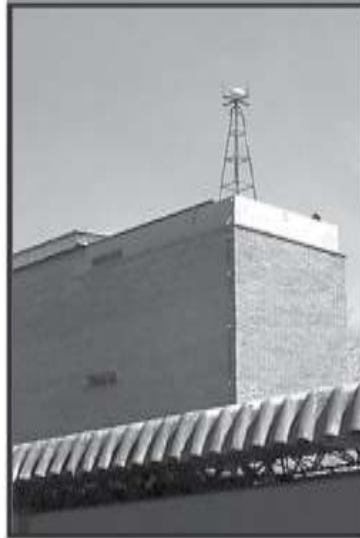


Figura 6 – Estação fixa EESC – caixa d'água do STT - EESC – USP.

### **Geração da Ortofoto**

Uma ortofoto é a fotografia resultante da transformação de uma foto original, que é uma perspectiva central do terreno, em uma projeção ortogonal sobre um plano. Dessa maneira, as posições e as dimensões dos objetos da imagem são apresentados em escala.

Atualmente, devido ao uso de sistemas fotogramétricos digitais, as ortofotos podem ser geradas a partir desses equipamentos. O principal instrumento, neste caso, é o computador. Através de programas aplicativos específicos, as imagens são retificadas e os valores da imagem distorcida transformam-se em valores da grade da matriz retificada.

Muitos sistemas de processamento de imagens, desenvolvidos para o mapeamento digital e Sensoriamento Remoto, fornecem rotinas que executam esses procedimentos de retificação. Muitas vezes, este procedimento é chamado de georeferenciamento ou geocodificação. Os modelos matemáticos aplicados, nesses casos, para a retificação diferencial com a correção do relevo, podem ser obtidos a partir das transformações simples, polinomiais e transformações projetivas.

As primeiras exposições de um sistema de software para criação de uma ortofoto digital a partir de um DTM (Modelo Digital do Terreno) e de uma imagem varrida com o microdensitômetro, foram citadas por KEATING (1979).

A ortofoto digital, como meio fotogramétrico, traz facilidades na manipulação, armazenamento e exibição dos dados cartográficos, tornando o produto cartográfico mais acessível economicamente.

O princípio de produção da ortofoto digital consiste em transferir tons de cinza da fotografia aérea para uma malha fina e regular a projeção ortogonal do terreno, ou seja, as coordenadas planas da ortofoto. Esse processo requer a imagem digital da área, os valores de orientação interior e exterior (parâmetros da câmara) e o DTM. Os métodos diretos e indiretos de produção são os mais utilizados e estão apresentados, em detalhes, em NOVAK (1992).

Nesta pesquisa, foram utilizados dois programas aplicativos para a geração de ortofotos: o programa aplicativo do sistema SOCET SET da LH-Systems e o programa aplicativo do sistema DVP da empresa DVP. O sistema SOCET SET possui o recurso de geração automática do modelo digital com a subsequente geração da ortofoto. O sistema DVP possui um recurso de geração semi-automática do modelo digital do terreno. O estudo em questão baseia-se na comparação dos resultados desses dois sistemas com os dados gerados pelo modelo digital de terreno estabelecido com os pontos medidos com o sistema GPS RTK. Os resultados preliminares desse trabalho estão apresentados a seguir.

## Resultados

O trabalho em questão encontra-se ainda em fase preliminar de desenvolvimento. Por isso, os resultados apresentados a seguir servem apenas como indicação do nível de precisão que se está obtendo no momento. Trata-se, na realidade, do primeiro resultado obtido.

Tabela 1 - Comparação dos resultados obtidos preliminarmente.

TP	UTE - B (m)	DVP - B (m)	SOCET SET - B (m)
1 (partida UBP)	804,74	804,93	804,83
2 (capa final UBP)	805,04	805,28	805,17
3 (caçula de casa)	812,12	811,67	812,27
4 (caç. Cid. jardim)	822,30	822,11	822,47
5 (Imag. Paul)	811,92	812,17	811,62

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Um dos fatores definidores de qualidade dos DTMs e, conseqüentemente, das ortofotos está na precisão dos pontos de controle. Neste estudo, essa precisão variou de 2,5 cm a 5 cm.

A modelagem, propriamente dita, envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste de elementos dessas estruturas.

Os modelos digitais deste estudo foram os modelos de grade regular retangular e grade irregular triangular. O processo de geração de um modelo de grade compreende a construção de uma malha, regular ou irregular, e a definição das funções de interpolação.

Para cada elemento básico da grade, retângulo ou triângulo, a função de interpolação é válida para os pontos internos ao elemento. Esse processo é conhecido como ajuste de superfície. Cada função de ajuste, geralmente um polinômio, é definida utilizando-se os vértices dos elementos e, em muitos casos, os vértices dos vizinhos mais próximos também.

Uma grade irregular triangular é um poliedro de faces triangulares. Em um modelo de grade irregular triangular, os pontos amostrais são conectados por linhas para formar triângulos. Os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares são conhecidos.

Na construção de um modelo é muito importante que as características topográficas da superfície sejam preservadas. Assim, é interessante que o conjunto de amostras de entrada contenha as linhas características da superfície, tais como: linhas divisórias de água (linhas de máximo) e linhas de drenagem (linhas de mínimo). A estrutura do modelo de grade triangular é mais propícia para a inclusão desse tipo de linhas características.

O processo de geração de uma grade regular consiste em estimar os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto de amostras de entrada. É importante notar que a estimativa da cota z de cada ponto da grade é realizada a partir de amostras vizinhas locais (o valor da cota de cada elemento da grade é estimado a partir de uma quantidade preestabelecida de amostras vizinhas mais próximas do elemento). No entanto, uma análise global das amostras (quando se faz uso de todas as amostras para interpolar cada ponto da grade) é sempre necessária para se encontrar a vizinhança.

Neste estudo, tanto no sistema SOCET SET como no DVP foi utilizada a interpolação bilinear. Quando as amostras já estão no formato de grade regular retangular, o trabalho de geração de uma nova grade é bastante simplificado pelo fato de existir um relacionamento topológico preestabelecido entre as amostras. Esse processo é usado, em geral, para mudar a resolução de uma grade regular preexistente. Neste caso, a grade regular foi confeccionada de 10 m de lado. A grade regular derivada (interpolação bilinear) é mais densa do que a grade original.



Tabela 2 – Principais diferenças entre os modelos de grade irregular triangular e grade retangular.

GRADE IRREGULAR TRIANGULAR	GRADE REGULAR RETANGULAR
Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral	Os vértices dos retângulos são escolhidos a partir das amostras
Representa melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas.	Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais complexa	Estrutura de dados mais simples
É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos	Relações topológicas entre os retângulos são explícitas
Mais utilizado em aplicações quantitativas	Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análise multivariada no formato "rasler"

## Conclusão

Verificando os resultados preliminares, obtidos neste estudo, observou-se que uma das etapas que deve ser devidamente considerada é a coleta de dados. Nos sistemas fotogramétricos, SOCET SET e DVP, os dados de orientação exterior vão caracterizar a qualidade do modelo digital do terreno. Pois é a partir dos pontos de controle que se atribui as cotas aos vértices da grade regular de retângulos.

No sistema SOCET SET, a grade irregular de triângulos e a grade regular de retângulos são geradas automaticamente e são independentes. No DVP, a grade é gerada de maneira parcialmente automática, a rede irregular se dá nos mesmos vértices da grade regular dos retângulos, gerados a partir do equipamento.

## Referências Bibliográficas

- AGUIAR, V. Ortofoto digital, uma solução do futuro, já? Artigo, **Fator GIS**, n.2, Curitiba, PR: Sagres Editora, 1993.
- ALMEIDA, J.F. **Ortofoto Digital**, Curitiba, 1989. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.
- BÄHR, H.P.; WIESE, J.K. Cost – benefit analysis of digital orthophoto technology. Digital Photogrammetric System, **Eds Ebner**, p.59-73, 1991.
- BLACHUT. T. Cadastre for developing countries based on orthophoto techniques. **The Canadian Surveyor**, v.39, p.31-43, 1985.
- BONIFACE, P.R.J. PRISM – Softcopy production of orthophotos and DEM. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.58, n.1, p.91-94, 1992.
- BOULDER, F.L. Digital photogrammetric systems. **Digital Photogrammetric Systems**, Eds Ebner, p. 91-94, 1992.

DOYLE, F.J. The relative merits of electronic and optical techniques of producing orthophotographs, Papers, **Canadian Surveyor**, 1968.

ECKER, R. Digital orthophoto based to a high-quality DTM. **ITC Journal**, v.1, p.59-64, 1989.

HELAVA ASSOCIATES INCORPORATED Digital Scanning Workstation. **User's Manual**, Version 1.32, Mar.1994.

HELAVA ASSOCIATES INCORPORATED Digital Photogrammetric Workstation **User's Manual**, Version 2.2, Jun.1994.

INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE – UNIVERSITÄT BONN **First Course in Digital Photogrammetry**, Landesvermessungsamt, NRW, Bonn – Bad Godesberg, 1992.

HOOD et al. Image processing techniques for digital orthophoto production. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.55, n.9, p.1323-1329, 1989.

KAISER et al. **A digital orthophoto system from intergraph**, 1992.

KEATING, T.J. Digital orthophoto production using scanning microdensitometers. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.1, n.6, p.735-740, 1979.

KRAUS, K. **Photogrammetry. Fundamentals and standard processes**, v.1, Bonn: Ferd. Dümmler® Verlag, 1993a.

KRAUS, K. **Photogrammetry. Fundamentals and standard processes**, v.2, Bonn: Ferd. Dümmler® Verlag, 1993b.

KONECNY, G. Methods and possibilities for digital differential rectification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, n.6, p.727-734, 1979.

LOCH, C. **Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano**. Florianópolis: UFSC, 1989.

LOCH, R.E.N. Ortofotocarta: produção e aplicações. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1987, Brasília, DF. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Cartografia**, 1987.

MAYR, W.; HEIPKE, C.A. A contribution to digital orthophoto generation. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 16, 1998, Kyoto. Proceedings. Kyoto, ISPRS, 1988, v.27, n.IV, p.430-439.

MUNICH. A.G., Digital Orthoprojection: Scanning, Handling and Processing of Aerial Images, Papers, **In Digital Photogrammetric Systems**, Eds Ebner, 1991.

NOVAK, K. Rectification of digital imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.58, n.3, p.339-344, 1992.

TAVARES et al. **Fotogrametria**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1991.

THORPE, J. Aerial photogrammetric: state of the industry in the US. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.11, p.1599-1604, 1993.

WIESEL, J.K. **La confecção de ortofotos digitais**. In: BAHR, H. **Procesamiento Digital de Imágenes**. Eschborn, 1991, p. 85-103.

WOLF, P.R. **Elements of photogrammetry**. New York: McGraw-Hill, 1974.