

# USO DE ORTOFOTOCARTAS DIGITAIS

Furquim, Antonio J.; Falat, Denise R.; Tavares, Márcio M.;  
Sallem F., Silas; Kraemer, Simone M.  
ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.  
Rua Dr. Reynaldo Machado, 1.151 - Bairro Prado Velho  
80215-010 - Curitiba - Paraná - Brasil  
Telefone.: 0055 41 332-4299 - Fax: 0055 41 332-3273  
E-mail: info@esteio.com.br

## INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é apresentar o processo de confecção de ortofotos digitais, descrevendo as etapas mais importantes do processo como cobertura aerofotogramétrica, precisão, vantagens sobre o método convencional até a obtenção dos produtos finais, bem como conceitos e aplicações.

## HISTÓRICO

Em 1903 o oficial austríaco Scheimpflug tentou a produção de ortofotografias, usando o princípio da retificação diferencial, pela variação da distância de projeção. Em 1933 este princípio tornou-se realidade com o desenvolvimento do aparelho de Gallus-Ferber. Este aparelho, devido o alto-custo, não foi fabricado em série e a ortofotografia permaneceu esquecida até 1950, quando surgiu o ortofotoscópio nos EUA.

No Brasil a técnica da ortoprojeção iniciou-se em 1970 e no Estado do Paraná em 1980. Os processos digitais iniciaram-se no Estado do Paraná em 1994 e já foram utilizados por vários órgãos como PETROBRÁS, CEMIG, DER-PR, CODEVASF, COPEL, ITAIPÚ e outros

## ORTOFOTOCARTA DIGITAL

Podemos definir Ortofotocarta como uma imagem fotográfica onde as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições, sendo desta forma, geometricamente equivalente a um mapa de linhas e de símbolos, onde podem ser realizadas diretamente medidas de posição, distâncias, ângulos horizontais e áreas.

O princípio básico de produção de ortofotocartas digitais consiste no processo de transformação da projeção central na imagem (fotografia aérea rasterizada) em projeção ortogonal ao plano, mediante meios e métodos essencialmente digitais.

Os elementos básicos necessários para a geração de uma Ortofotocarta Digital, são: imagem digital, pontos de controle, modelo digital do terreno e parâmetros da câmara.

## PRODUÇÃO DE ORTOFOTOCARTAS DIGITAIS

### COBERTURA AEROFOTOGAMÉTRICA / AQUISIÇÃO DA IMAGEM

O mapeamento através de ortofotocartas, convencionais ou digitais, exige a execução da cobertura aerofotogramétrica com alguns cuidados inerentes ao processo.

Uma vez que utiliza-se a própria imagem fotográfica para a representação dos elementos planimétricos, deve ser considerado o efeito de sombra e a altura dos edifícios. O horário de vôo é muito importante, pois o recobrimento realizado próximo ao meio-dia (entre 11 e 13 horas) diminui sobremaneira o efeito das sombras.

Nos casos de mapeamento de áreas urbanas, principalmente aquelas mais densas, com edifícios de grande porte, é recomendável a utilização de câmaras aéreas de distância focal de 300mm ou maior, reduzindo-se desta forma, o problema de inclinação dos edifícios bem como o encobrimento de detalhes.

Embora a ortoprojeção digital tenha recursos de tratamento das diferentes tonalidades entre fotos, deve-se evitar ao máximo as emendas de duas fotos, pois do ponto de vista produtivo, o tempo de execução seria maior. Desta forma deve-se planejar os eixos das faixas de vôo, coincidentes com a linha passante pelo centro das folhas, de acordo com a articulação utilizada, evitando emenda de fotos de faixas distintas. No caso de redes viárias, é aconselhável planejar o eixo do vôo coincidente ou o mais próximo do eixo da via.

Outro fator importante a ser considerado é a relação entre a escala do vôo e a escala da ortofotocarta a ser confeccionada (ampliação 3 a 4 vezes a escala de vôo), a fim de preservar a boa resolução da imagem. Por exemplo, para ortofotocartas 1:2.000 recomenda-se efetuar a cobertura aerofotogramétrica na escala 1:8.000.

As emendas longitudinais, no sentido das faixas do vôo, poderão ser evitadas utilizando-se uma superposição adequada, normalmente em torno de 80% que dependendo do formato da folha, possibilita que a

ortofotocarta seja recoberta pela imagem de uma única foto. Note-se que em determinadas escalas, a superposição de aproximadamente 60% é suficiente.

Caso as fotos já estejam disponíveis, ainda é possível fazer o mapeamento através de ortofotocartas digitais, desde que o levantamento aerofotogramétrico atenda geométrica e radiometricamente os quesitos básicos para mapeamento.

Devido ao alto nível tecnológico das atuais câmaras aéreas e da alta resolução dos sistemas de lentes, associados às atuais emulsões fotográficas, é possível obter fotografias analógicas com resolução fotográfica acima de 100 pares de linhas por milímetro. A qualidade da imagem e o baixo custo do material, são as principais razões pelas quais as fotografias analógicas deverão continuar sendo usadas nos próximos anos.

Segundo AGUIAR, o uso de câmaras digitais para aquisição de fotografias aéreas ainda não é uma realidade, devido a aspectos técnicos e também pelos altos custos envolvidos, mas acredita-se que a evolução natural seja a aquisição da imagem de forma digital.

## **APOIO TERRESTRE**

Para que possa ser obtida a ortofotocarta digital, faz-se necessário a correlação da imagem com o terreno fotografado. Esta adequação é feita por meio do processo de aerotriangulação, que será explicado na próxima etapa. Para a realização da aerotriangulação, é necessária a obtenção de coordenadas de alguns pontos do terreno, chamados pontos de apoio. Usualmente são requeridos apenas dois pontos a cada três modelos fotogramétricos. As coordenadas planimétricas dos pontos de apoio são obtidas por métodos de levantamento, por rastreamento de satélites GPS (Global Positioning System) e as coordenadas altimétricas por nivelamento geométrico.

O levantamento pelo método GPS consiste no rastreamento de satélites através de receptores e antenas próprias, instalados sobre os pontos fotointeressáveis. Este rastreo utiliza o método diferencial, que deve para tanto, obter dados em pelo menos dois pontos simultaneamente. Estes dados são processados e esta rede de pontos de apoio é referenciada a um sistema de coordenadas conhecidas. No Brasil usualmente é utilizada rede fundamental de triangulação de 1.<sup>a</sup> ordem do IBGE.

Para determinação da altimetria dos pontos, utiliza-se o nivelamento geométrico. Este levantamento é referenciado a Rede Fundamental de 1.<sup>a</sup> ordem do IBGE. O transporte é feito com o uso de níveis de precisão.

## **AEROTRIANGULAÇÃO**

A Aerotriangulação consiste basicamente de um processo matemático que permite a densificação dos pontos de Apoio, através das seguintes etapas:

1 - Identificação dos pontos de Apoio, nos diafilmes que serão aerotriangulados. Estes pontos são representados em croquis e servem como apoio para o ajuste da área.

Em seguida é feita a distribuição dos pontos a serem utilizados como ligação entre modelos e faixas e a perfuração dos mesmos, com agulhas de 0,006mm de diâmetro no equipamento de transferência de pontos.

Os pontos de ligação entre os modelos devem ser posicionados na linha central do diapositivo, dentro da zona de superposição longitudinal, em número mínimo de 3 pontos.

Os pontos de ligação de faixas (pontos de enlace) devem ser posicionados em locais onde os detalhes aparecem bem definidos e fora da faixa de 1,5cm de borda dos diapositivos.

2 - Leitura das coordenadas instrumentais

Após a estereopreparação é feita leitura das coordenadas instrumentais em aparelhos restituidores analíticos.

3 - Processamento.

Um programa de ajustamento de aerotriangulação (de preferência, com detecção e eliminação automática de erros grosseiros) realiza ajustamento de bloco através dos dados obtidos da leitura dos modelos fotográficos independentes, e executa o ajuste pelo método dos mínimos quadrados dos pontos medidos nos modelos juntamente com as coordenadas dos pontos de controle.

## **DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS**

Atualmente as imagens aéreas utilizadas para a produção de Ortofotos Digitais, por questões econômicas e práticas, ainda não utilizam técnicas de obtenção digital. Assim sendo, são obtidas por câmaras aéreas convencionais e, posteriormente, são transformadas para a forma digital. Isto é realizado através de *scanners* especiais. Durante os últimos anos, a indústria desenvolveu uma série de equipamentos com a finalidade de atender ao formato padrão de 23cm x 23cm.

A maior parte dos softwares utilizam imagiadores de 8 bits (compatível com 256 tons de cinza). Entretanto, os filmes aéreos possuem um espectro mais amplo, obrigando uma compressão do mesmo, nos 256 tons de cinza, impostos pelos imagiadores de 8 bits.

Esse tipo de compressão pode ser realizado de duas maneiras:

– O primeiro método envolve a criação de um diafilme a partir de um negativo aéreo com densidade específica, para ser representado adequadamente por 256 tons de cinza.

– O segundo método envolve a digitalização de negativos aéreos, com sua densidade original, ou seja, 10 ou 12 bits, por pixel, envolvendo de 1024 a 4096 tons de cinza e a partir daí, comprimido a 256 tons de cinza.

Diversos são os algoritmos para realização dessa compressão como: interpolação e funções logarítmicas.

Alternativamente, pode-se geminar os 2 métodos para obter a imagem com 256 tons de cinza, primeiro criando um ortodiapositivo e posteriormente realizando a compressão da imagem digital.

A qualidade dos *scanners* deve permitir a obtenção do pixel de tamanho inferior a  $25\mu\text{m}$  e taxa de varredura de 200.000 a 400.000 pixel por segundo. Na digitalização de diafilmes aéreos, é possível se obter uma resolução ( $7,5\mu\text{m}$ ) em menos de 20 minutos.

A qualidade das imagens é determinada por sua resolução geométrica e radiométrica estas não determinam apenas o tamanho da memória principal utilizada e o dispositivo de armazenagem de dados, mas também a velocidade de processamento. A escolha do tamanho do pixel para digitalização é, portanto, um compromisso entre a qualidade e a economia. Na prática, tem sido usado tamanho do pixel de  $25 \times 25\mu\text{m}$ . Para a resolução radiométrica, são adotados  $256(2^8)$  tons de cinza, armazenados em um byte (8 bits). A imagem digitalizada pode ser armazenada numa fita magnética ou em um CD-ROM.

## PROCESSO DE ORIENTAÇÃO DAS IMAGENS

A Orientação Relativa das imagens aéreas é indicada pela constante da câmara, posição das marcas fiduciais, ponto principal e distorção radial. Utilizando uma transformação conveniente, a imagem digitalizada é reamostrada para uma nova matriz a qual será baseada no sistema de coordenadas definido pelas marcas fiduciais. Esta orientação pode ser feita no momento da digitalização dos diafilmes.

A fotografia aérea digitalizada radiométricamente corrigida, é agora uma imagem digital com orientação relativa conhecida. Futuramente, a orientação absoluta poderá ser determinada, por processo automático ou pelo processo convencional onde é calculada a aerotriangulação e os pontos são importados para a *workstation*. No método convencional os pontos perfurados nos diafilmes, são encontrados e correlacionados ao arquivo final da aerotriangulação, feito isto os pontos são ajustados e são calculados os resíduos das orientações.

## MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

Podemos obter os dados para geração do MDT a partir de vários métodos como por exemplo:

### *Perfilamento*

O modelo estereofotogramétrico é orientado em um aparelho restituidor e a partir disso, são gerados perfis do terreno, o espaçamento entre os pontos é definido em função das escalas do vôo das ortofotos e do relevo. O operador deve manter a marca estereoscópica sempre tangenciando o terreno, enquanto o mecanismo do aparelho avança ao longo do perfil desejado, coletando os pontos necessários. Se o espaçamento entre os pontos for constante deverão ser utilizados *breaklines* (Linhas de Quebras) ou deverão ser gerados pontos intermediários se o desnível for superior a valores pré-estabelecidos.

### *Prosa*

Neste processo o aparelho restituidor é programado para estabelecer uma malha regular que tem a altitude dos seus pontos de canto lida pelo operador. A malha é adensada sempre que a diferença entre as altitudes dos pontos de intersecção ultrapassa a tolerância estabelecida no programa.

### *Curvas de Nível*

A partir das curvas de nível restituídas no processo usual, são interpoladas coordenadas tridimensionais de seus pontos ou vão permitir a geração de malha regular.

### *MDT Automático (Modelo Digital do Terreno)*

Alguns sistemas de ortofoto permitem a geração automática do MDT. Através da correlação entre os pixels das imagens do modelo fotogramétrico. São calculadas as diferenças de altitudes para cada ponto da malha regular.

### *Geração do MDT*

Para a área a ser coberta pelas ortofotos, devemos preparar um modelo digital do terreno. Isto significa que as altitudes, as quais estão arranjadas numa malha regular, têm que representar o terreno. Valores de altitude para cada pixel da ortofoto serão interpolados.

Erros altimétricos podem criar erros planimétricos na ortofoto. Nos cantos do modelo, os erros planimétricos atingem seu máximo e tem cerca da mesma magnitude do erro altimétrico. A precisão da elevação do modelo tem, portanto, uma grande influência na precisão da ortofoto. A precisão do MDT é melhorada utilizando-se *breaklines*, como por exemplo rios e estradas.

## RETIFICAÇÃO DIGITAL

A imagem digital pode agora ser transformada numa ortofoto. É necessário encontrar o valor de cinza para cada pixel na ortofoto. Existem coordenadas (X;Y;Z;) para todos os pontos do MDT. Suas posições na imagem digital são encontradas de acordo com as equações de projeção fotogramétrica utilizando a aproximação de baixo para cima, os parâmetros das orientações interior e exterior são fundamentais nesta etapa. O valor de cinza relevante é encontrado através de uma conveniente interpolação com os pixels adjacentes (chamado reamostragem) e relacionado ao pixel da ortofoto. A fim de reduzir o tempo de processamento, esta análise rigorosa não é usada para cada pixel. Por conta disso, uma transformação linear é utilizada para a maioria dos pixels. A resolução da ortofoto a ser gerada, é determinada em função do equipamento em que será posteriormente manipulada e do plotter a ser utilizado para geração do produto final convencional. Para uso convencional, onde as imagens são manipuladas em micro computadores e plotadas a jato de tinta, as ortofotos são geradas com uma resolução de 127 dpi.

## CONTROLE DE QUALIDADE

O Controle de Qualidade consiste na análise de alguns fatores:

- Verificação do MDT sobre o modelo estereoscópico a partir da geração das curvas de nível;
  - Verificação dos resíduos encontrados nos pontos de checagem, estes são pontos de aerotriangulação não utilizados no momento da orientação das imagens.
  - Ligações entre as ortofotocartas adjacentes tanto no aspecto radiométrico como no geométrico;
- Além disso outros elementos são considerados para a qualidade das imagens:
- Tamanho do pixel;
  - O estado do negativo fotográfico;
  - Qualidade do scanner;
  - Limpeza e densidade de ortodiafilme digitalizado;
  - Da proporção entre a escala da foto e do produto desejado;
  - Do algoritmo de retificação;
  - Qualidade do plotter.

## PRECISÕES

A precisão relativa na Ortofoto Digital é diretamente relacionada com a escala da foto. Utilizando-se um *scanner* de qualidade e procedimentos adequados à fotogrametria, a precisão relativa pode chegar a 50 micra (0,050 mm), na escala da foto. Por exemplo, a precisão relativa visando uma foto 1:10.000 é de 50 cm.

A precisão absoluta de uma ortofoto depende dos pontos de controle usados para orientar o diafilme da imagem digitalizada e da precisão do MDT usado na retificação.

O tamanho do pixel da imagem deve ser adequado para representação dos detalhes do terreno na escala do Produto Final.

A tabela abaixo apresenta valores recomendados pelo MEET NATIONAL MAP ACCURACY STANDARDS.

Escala do Produto Final	Tamanho aproximado do Pixel
1:250	0,025 m
1:500	0,050 m
1:1250	0,125 m
1:2.500	0,250 m
1:5.000	0,500 m
1:7.500	0,750 m
1:10.000	1,000 m
1:15.000	1,500 m

## VANTAGENS

1. A Ortofotocarta Digital apresenta as seguintes vantagens em relação a:
  - Possibilidade de uso da imagem em sistemas de informações geográficas;
  - Flexibilidade de escalas na saída gráfica;
  - Maior facilidade na atualização;

- Mais eficiente, produtivo e flexível;
- Possivelmente mais econômico;
- Num futuro próximo, as DPSs (Digital Photogrametric Systems), poderão realizar com vantagens adicionais os trabalhos hoje realizados pelos restituidores analíticos, retificadores, ortoprojetores, sistema de classificação e interpretação de imagens e outros.

#### 2. Carta de traço obtidas por restituição

- As informações RESTITUÍDAS devem ser fotointerpretadas por técnicos de grande experiência para garantir a confiabilidade das informações, porém na ortofotocarta digital, não é necessário este técnico especializado;

- O tempo de execução de uma restituição é maior e requer maiores cuidados que os procedimentos de uma ortofotocarta, pois mesmo os equipamentos de restituição mais avançados ainda possuem procedimentos mecânicos e fator de ampliação da imagem restrito;

- A Ortofotocarta Digital é um processo mais econômico, se levarmos em consideração entre outros fatores, o tempo gasto e mão-de-obra;

- As Ortofotocartas requerem um quadro de correções bem mais reduzido que a restituição, pois apresenta a imagem onde o cenário identifica diretamente, elementos e feições.

#### 3. Carta de traço obtidas por levantamento topográfico:

- Rapidez na obtenção;

- Menores dificuldades de execução com condições climáticas desfavoráveis (épocas de chuva);

- Riqueza de detalhes, partindo da premissa que tem-se imagem, portanto todos os detalhes serão representados.

### **APLICAÇÕES GERAIS**

Diversos são os campos de aplicação de ortofotocartas digitais, como por exemplo:

#### 1. Regularização Fundiária

Para projetos de desapropriação e parcelamento de lotes, reassentamento;

#### 2. Oleodutos e Gasodutos

Em projetos de macrolocalização de dutos, estudos de traçado, estudos de travessias de impacto ambiental;

#### 3. Eletrificação Rural

Para planejamento e densificação de redes elétricas em áreas rurais;

#### 4. Rede Viária

Para projetos de traçado, interseções, duplicações e manutenção de estradas;

#### 5. Mapeamento Florestal

Para planejamento, controle de plantio e gerenciamento florestal;

#### 6. Projetos de Monitoramento Ambiental

Para estudos de impacto e educação ambiental, projetos de transposição de águas fluviais;

#### 7. Anteprojetos de Barragens

Para definição do eixo de barragem, projetos de estradas locais, projetos de instalações preliminares do canteiro de obras;

#### 8. Cadastro

Para planejamento, controle e gerenciamento das áreas urbanas e rurais;

#### 9. Projetos de Restauração

Neste caso, geradas a partir de fotogrametria terrestre, são utilizadas para restauração de construções antigas.

### **PRODUTOS FINAIS**

A geração de produtos finais compreende a obtenção da imagem em formato compatível com os sistemas gráficos mais comuns como demonstrado no quadro abaixo. São apresentados também os dados vetoriais, como malha de coordenadas, curvas de nível, toponímias, convenções cartográficas, dados de selo e dados técnicos.

A apresentação dos produtos finais pode se dar de duas formas:

Produto Convencional:

Obtida através de *plotters* especiais, de alta resolução, em material estável.

Produto Digital:

A apresentação dos produtos finais na forma digital é a mais moderna e a mais utilizada, pois se trata dos arquivos raster e vetorial que formam a Ortofotocarta Digital.

Esses arquivos, aliados à sistemas gráficos de manipulação, estão se transformando em ferramentas poderosas para estudos e projetos nas mais diversas áreas.

No armazenamento dos produtos digitais podemos utilizar vários tipos de mídia, como segue:

Unidade	Tamanho
CD-ROM	650 Mb
Disco Ótico	1,2 Gb
Fita Dat (8mm)	2 a 14 Gb

**Direitos Autorais Reservados**