

EXATIDÃO CARTOGRÁFICA E CONTEÚDO INFORMATIVO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA  
COMPILAÇÃO E REVISÃO DE MAPAS DIGITAIS \*

Eng. Cart. Arlete A. C. Meneguette, Ph. D.  
Instituto de Planejamento e Estudos Ambientais  
UNESP - Campus de Presidente Prudente  
Departamento de Cartografia  
Caixa Postal 957 - 19060 - Presidente Prudente, SP, Brasil

RESUMO

Inicialmente, uma avaliação desenvolvida sobre imagens orbitais no tocante à potencialidade das mesmas para mapeamento topográfico e temático é apresentada, seguida por resultados analíticos.

Técnicas e metodologias convencionais assim como recém desenvolvidas foram empregadas em instrumentos fotogramétricos (analíticos e digitais).

Diversas áreas testes foram cobertas durante esta avaliação, sendo que três regiões foram selecionadas, estando estas localizadas na França, Líbia e Brasil.

Mapas gerados nas escalas 1:50 000, 1:100 000 e 1:200 000 a partir de imagens, tanto em forma fotográfica quanto digital, são mencionados e resultados interpretativos apresentados.

Resultados provam que, apesar da exatidão geométrica e cartográfica estar dentro dos padrões requeridos pelas comunidades européia e americana, o conteúdo informativo das imagens ainda é o fator predominante, o qual limita a aplicação de tais imagens para mapeamento em escalas médias.

ABSTRACT

This paper firstly evaluates the existing space imagery with respect to its potenciality for topographic and thematic mapping. This is followed by analytical results.

Conventional and newly developed techniques were used in analytical and digital photogrammetric equipment.

Several test areas were covered during this evaluation and three selected ones are located in France, Libya and Brazil.

Maps at 1:50 000, 1:100 000 and 1:200 000 scales were generated from the imagery, in both photographic and digital form. These maps are mentioned and interpretation results are shown.

Results prove that, despite the geometric and cartographic accuracy being within the European and American standards, the information content is still the dominant factor limiting the application of such imagery for mapping at medium scales.

1. INTRODUÇÃO

Imagens espaciais têm sido uma constante fonte de informação dentro da comunidade envolvida em mapeamento, desde a década de 70, quando os satélites da série Landsat passaram a varrer a superfície terrestre e a emitir sinais a serem processados em terra.

Atualmente dois principais sensores, o Multispectral Scanner (MSS) e o Thematic Mapper (TM), são os responsáveis por grande parte do imageamento de nossos recursos naturais.

Recentemente, fotografias espaciais de alta resolução foram obtidas por duas missões separadas da Space Shuttle americana. A primeira delas durante o vôo experimental do Spacelab em 1983 (câmara métrica Zeiss), enquanto a

segunda ocorreu em 1984 quando a câmara de grande formato foi empregada.

No momento, entretanto, o foco de maior atração é o satélite SPOT, que a partir de 1986 passou a produzir imagens de alta resolução em dois modos, pancromático e multiespectral, com a grande vantagem da capacidade estereoscópica.

Neste estudo várias fontes de informação foram utilizadas, sendo estas imagens em forma fotográfica e digital, assim como modelos digitais do terreno, fotografias digitalizadas, mapas digitalizados em forma vetorial e parâmetros de transformação obtidos durante a orientação absoluta.

Diversas áreas foram cobertas durante es-

\* Este trabalho é uma compilação de alguns dos resultados obtidos por esta autora durante o programa de doutoramento realizado na University College London, Londres, Inglaterra.

ta avaliação, sendo que tres regiões foram selecionadas; estando localizadas na França, Líbia e Brasil.

A área teste situada em Marselha, França, foi coberta por fotografias aéreas assim como as obtidas pela câmara métrica Zeiss. Além destas imagens dos satélites Landsat (TM) e SPOT foram empregadas em forma digital.

Com relação à área teste localizada na Líbia, apenas fotografias de câmara métrica foram utilizadas; enquanto a área brasileira foi apenas coberta por imagens do satélite Landsat (TM).

Uma quarta área teste localizada no Sudão, coberta por fotos da câmara de grande formato, teria sido selecionada caso mapas cobrindo a tal região fossem fornecidos. Porém devido à não possibilidade de tal emprego para comparação direta com mapas a serem recém plotados, apenas resultados analíticos foram produzidos para tal área.

## **2. METODOLOGIA EMPREGADA E RESULTADOS ANALÍTICOS OBTIDOS**

A extração de informação geométrica de imagens espaciais requer o conhecimento das relações matemáticas entre a imagem e o espaço objeto. Restituição deve pois ser feita, quando a localização correta de detalhes presentes na imagem é determinada em algum sistema de referência selecionado.

A fim de relacionar imagem e terreno é necessário definir pontos de controle (pontos notáveis), a não ser que seja possível definir a posição e atitude do sensor acuradamente através de outros métodos.

No presente estudo, tanto fotografias quanto imagens obtidas por sensores de varredura (scanners) foram empregados, portanto é necessário fazer uma distinção entre os métodos utilizados.

As fotografias espaciais foram adquiridos através do uso de câmaras, as quais utilizam o princípio da projeção central. Neste caso, uma vez que cada foto é formada em uma única exposição, o efeito de qualquer possível movimento da plataforma onde a câmara está montada é de pouca significância.

Sistemas sensores de varredura, entretanto, formam uma imagem como uma série de pontos imageados em tempos diferentes, durante o qual o satélite está se movendo e a superfície terrestre também o está relativa ao satélite. Portanto, o efeito causado pela rotação e esfericidade da Terra, pelo movimento da plataforma e pela operação do sensor, fazem desse tipo de imageamento o mais sujeito à distorções.

### **2.1 FOTOGRAFIAS ESPACIAIS**

O processo da formação do modelo este reoscópio é idêntico, tendo sido as imagens obtidas por câmaras métricas montadas em veículos como a Space Shuttle a grande altitude, ou por aviões como em Fotogrametria convencional.

Entretanto, devido à altitude em que a câmara se localiza e à escala das fotografias, consideração especial deve ser dada aos méto-

dos usados para criar o modelo e determinar os elementos de orientação exterior.

O primeiro passo, é o de remover o efeito da distorção da lente empregada na câmara, assim como a deformação sofrida pelo filme. Isto pode ser feito em se aplicando correção para distorção radial e empregando uma transformação, seja esta afim, por similaridade ou conforme, às coordenadas observadas das marcas fiduciais.

Em seguida à orientação interior, a orientação exterior é realizada em duas etapas: a orientação relativa e a absoluta. Um outro método numérico que também possibilita a determinação simultânea dos seis elementos de orientação exterior, de uma única fotografia, é o de resseção espacial.

Uma relação projetiva existe entre as coordenadas de fotografia dos pontos-imagem e as coordenadas de terreno dos pontos-objeto correspondentes, se a condição de colinearidade for assumida. Esta condição é expressa pelas conhecidas equações de colinearidade, as quais são as mais fundamentais equações em fotogrametria analítica.

A avaliação de fotografias espaciais foi realizada em três etapas:

- a) a restituição e determinação de coordenadas de terreno analiticamente;
- b) colocação de modelos estereoscópicos em um aparelho fotogramétrico analítico; e
- c) plotagem de mapas utilizando métodos de cartografia automatizada.

Resultados obtidos após a orientação interior mostraram-se melhores quando da utilização de fotos aéreas e das obtidas pela câmara de grande formato, do que quando fotografias tiradas com a câmara métrica foram empregadas. Isto se deve à problemas técnicos encontrados a bordo do Spacelab, o que provocou distorções, degradação de qualidade da imagem e mesmo a omissão de uma marca fiducial em algumas das fotos.

Apesar destes problemas, resíduos por volta de 10  $\mu\text{m}$  e máximo valor de 23  $\mu\text{m}$  foram obtidos após a orientação interior. Resultados da orientação relativa foram igualmente aceitáveis, com paralaxe máxima de 10  $\mu\text{m}$  para a câmara métrica e 18  $\mu\text{m}$  para a câmara de grande formato.

Em geral, a orientação absoluta de fotografias espaciais foi realizada sem maiores dificuldades desde que um novo método de calcular as aproximações iniciais para os elementos de orientação exterior foi empregado (Menequette, 1985).

Erro médio quadrático (EMQ) de 20 a 30 metros em planimetria e 40 metros em altimetria foram obtidos quando da não aplicação de correção ao efeito da esfericidade da terra e refração atmosférica.

Melhores resultados foram alcançados quando estas correções foram empregadas, o que, aliado à utilização de controle de campo melhor selecionado, levou a valores de EMQ que variam entre 3 e 23 metros em planimetria e de 3 a 10 metros em altimetria, utilizando fotografias nas escalas de 1:800 000. O controle

de campo utilizado foi definido nos sistemas Universal Transverso de Mercator (UTM), Sistema Local Vertical (SLV) e Lambert.

## 2.2 IMAGENS DIGITAIS

Para a avaliação de imagens espaciais em forma digital, metodologia semelhante à utilizada com fotografias foi empregada, porém a aplicação de tais técnicas exigiu o desenvolvimento de software especializado (Downman I. et al., 1986).

Tal software foi desenvolvido em Fortran 77 para aplicação em um sistema de processamento de imagens digitais e constitui o que tem sido referido como um monocomparador plotter digital.

Meneguette (1986, 1987b) descreve este novo instrumento fotogramétrico que substitui os diapositivos da fotogrametria convencional por memórias digitais, sendo que as imagens são mostradas em um monitor de televisão e o ponto flutuante é representado por um cursor centrado na tela.

Resultados obtidos (Meneguette, 1987a, 1987c) mostram-se deveras promissores, desde que em se aplicando uma transformação afim a quatro pontos de controle, imagens Landsat puderam ser restituídas com EMQ que varia de  $\pm 1/3$  a  $\pm 1$  pixel, para os pontos de controle. Estes valores correspondem a valores de 10 a 30 metros para o sensor TM e de 26 a 80 metros para o MSS.

No caso de fotografias espaciais digitalizadas, o software foi especialmente adaptado com a adoção das equações de colinearidade e a possibilidade de inclusão de modelos digitais de terreno (MDT).

Resultados de orientação interior mostraram um valor máximo de 3  $\mu$ m, enquanto após recessão espacial, coordenadas de terreno foram medidas na imagem com exatidão de 24 metros em planimetria e 9 metros em altimetria.

## 3. MAPAS TOPOGRÁFICOS COMPILADOS

Vários mapas foram utilizados neste estudo, tanto para extração de controle de campo, quanto para comparação direta com os mapas recém-plotados a partir de imagens espaciais.

Para a área teste na França, mapas nas escalas 1:25 000, 1:100 000, 1:200 000 e 1:250 000 foram consultados, enquanto para a área na Líbia, apenas mapas na escala de 1:50 000 puderam ser usados.

Para as regiões próximas à Santana de Parnaíba e Perus (Brasil), cobertas por imagens Landsat TM, mapas nas escalas 1:50 000 e 1:100 000 puderam ser empregados.

Novos mapas, atualizados e revisados foram compilados nas escalas de 1:50 000, 1:100 000 e 1:200 000, a partir de fotografias de câmara métrica e imagens do satélite Landsat. Mapas correspondendo às áreas teste na França, Líbia e Brasil são apresentados em Meneguette, 1987c.

Além destes mapas, os quais foram gravados em forma digital e plotados graficamente, mapas-imagem foram gerados de forma a permitir a sobreposição com imagens geometricamente cor-

rigidas e apresentadas na tela de monitor RGB.

Tais mapas digitais auxiliar de sobre maneira a atividade de revisão de mapas em fase posterior, quando novas imagens estiverem disponíveis e houver necessidade de atualização através de métodos computadorizados.

### 3.1 EXATIDÃO DOS MAPAS RECÉM-PLOTADOS

Coordenadas de pontos teste e pontos de controle foram medidas em ambos conjuntos de mapas, ou seja, os existentes e os recém-plotados, utilizando um digitalizador eletrônico. Tais coordenadas foram comparadas entre si e resultados calculados. Resultados mostraram uma vez mais a importância que a seleção de localização e número de pontos de controle exerce sobre o resultado final.

Quando padrões internacionais de precisão são considerados, os resultados obtidos encontram-se dentro dos valores estabelecidos na maioria dos casos, para os pontos de controle.

Portanto, quando mapas na escala de 1:100 000 obtidos a partir das fotos da câmara métrica são considerados, para pontos de controle os valores padrão são alcançados. Entretanto, para pontos teste, exatidão requerida para escalas menores que 1:100 000 e algumas vezes até escala de 1:200 000 é obtida.

Mapas gerados a partir de imagens Landsat TM alcançam valores requeridos para escalas entre 1:50 000 e 1:100 000 no caso de pontos de controle, porém para pontos teste, padrões requeridos para escalas que variam entre 1:130 000 e 1:300 000 são alcançados.

Quanto aos mapas imagem, exatidão de 7.2 e 11.7 metros (0.24 e 0.39 pixel) foi obtida em se corrigindo geometricamente as imagens TM com relação a um mapa base digital.

Idealmente, estes valores seriam suficientes para alcançar padrões requeridos para mapeamento em 1:25 000 e 1:50 000. Apesar de que estes resultados mostram-se otimistas é necessário considerar que apenas uma subimagem foi selecionada e poucos pontos de controle considerados em polinômio de segundo grau.

Entretanto, o mais importante fator que permitiria ou limitaria a aplicação de tais imagens ao mapeamento cartográfico é o de conteúdo informativo, a ser tratado na seção que se segue.

### 3.2 CONTEÚDO INFORMATIVO DAS IMAGENS E DOS RECÉM GERADOS

Fotografias espaciais utilizadas neste estudo foram realçadas fotograficamente, enquanto imagens digitais o foram em um sistema de processamento de imagens, para permitirem uma avaliação da potencialidade de tais dados.

Em se observando as fotos espaciais, é possível detectar detalhes culturais e naturais de forma panorâmica, entretanto, quando vistas sob maior magnificação, as imagens deixam muito a desejar em termos de qualidade.

De forma geral, detalhes como reservatórios, rios, costa marítima, espalhamento de cidades, assim como estradas principais e algumas secundárias, dependendo do contraste com a

região circunvizinha, podem ser detectados com grande facilidade. Aeroportos, tanques de indústrias, canais e grandes edifícios também puderam ser visualizados sem maiores dificuldades.

Porém, quando se trata da plotagem de tais detalhes, esta tarefa mostra-se deveras árdua, uma vez que a imagem mostra-se granular, dificultando a interpretação e correto posicionamento.

O padrão de ruas dentro do limite metropolitano pode ser observado, mas novamente torna-se muito estafante para o operador o trabalho de identificação e de classificação de estradas, sendo que erros neste tocante são maiores de que o posicionamento de tais detalhes.

Grande parte de detalhes relevantes podem ser detectados nas fotos, porém devido a porções significantes de informação estarem faltando ou não aparecerem suficientemente claras, há indicação de que a presente especificação ainda não é suficiente para mapeamento ou revisão confiável em escalas médias.

Com respeito as imagens de satélite, tanto Landsat quanto SPOT, há uma melhoria gradual e positiva com relação as fotografias espaciais. No caso do Landsat TM a grande vantagem da capacidade multiespectral, enquanto para SPOT, a maior resolução espacial.

A mesma área teste localizada na França pode ser observada em fotos da câmara métrica, TM e SPOT, além de fotos aéreas, provando uma vez mais que, para mapeamento cartográfico sério, é necessário uma maior resolução espacial. Métodos adequados de extração de informação e revisão de mapas, assim como a grande vantagem de se observar o modelo estereoscopicamente, contribui de sobremaneira para que esta atividade possa se tornar viável em escalas médias e grandes.

Mapas foram analisados (Meneguette, 1987a, 1987c) não apenas do ponto de vista geométrico, mas também de interpretação e plotagem de mapas e comparação direta com mapas existentes, como já foi mencionado. Para tanto, uma série de testes foram realizados, medindo-se a extensão de detalhes previamente selecionados, tais como estradas de rodagem, vias de transporte em geral, rede de navegação, entre outros.

Comparação entre os mapas existentes e os recém plotados a partir de fotos espaciais provaram que mapeamento na escala de 1:100 000 não pode ser obtido com grande porcentagem de acerto em termos de identificação e classificação corretas e compleção de detalhes.

Mesmo na escala de 1:200 000 detalhes relevantes não se mostraram presentes nos recém gerados mapas a partir de fotos espaciais.

Quando imagens de satélite são consideradas, entretanto, mapeamento em ambas as escalas de 1:100 000 e 1:200 000 poderia ser obtido, caso se fizessem certas restrições devido ao poder de resolução dos sistemas sensores utilizados.

#### 4. CONCLUSÕES

Por muitos anos a comunidade envolvida em mapeamento tem se preocupado com a aplicação de imagens provenientes do espaço, seja em forma fotográfica ou digital, à compilação e revisão do mapas em escalas pequenas.

Novos sistemas sugeririam a possibilidade de aplicação à escalas médias, o que uma série de autores a se preocuparem com a qualidade em termos geométricos que poderia ser obtida a partir de tais fontes de informação.

Pouca importância foi entretanto dada ao conteúdo informativo destas imagens e comparações com respeito a mapas existentes e fontes de informação entre si.

O presente estudo procurou apresentar sucintamente alguns dos inúmeros resultados obtidos por esta autora durante anos de estudo, em que metodologia, técnicas e resultados foram desenvolvidas e obtidos.

É importante lembrar também que países em desenvolvimento deveriam procurar estabelecer suas próprias metas sem se deixar levar por prioridades estabelecidas por países industrializados, em que a mera tarefa de revisão de mapas é requerida.

A metodologia já existe e está a nossa disposição, é necessário porém colocá-la em prática e passar a produzir mapas tanto de alta qualidade geométrica, assim como atualizados em menor espaço de tempo.

#### AGRADECIMENTOS

A autora é grata a Prof. Marcia M. Biazon pela leitura e sugestões referentes ao texto e a Cristina S. Okubo pela datilografia do texto.

#### REFERÊNCIAS

- DOWMAN, I.; GUGAN D., MENEGUETTE A. Techniques for mapping and map revision using digital imagery from space. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 26 (4): 529-537, 1986.
- MENEGUETTE, A. Evaluation of metric camera photography for mapping and co-ordinate determination. Photogrammetric Record, 11 (66): 699-709, 1985.
- MENEGUETTE, A. Desenvolvimento de um monocomparador plotter digital para mapeamento e revisão de mapas em escalas médias a partir de imagens espaciais. Não publicado, 1986.
- MENEGUETTE, A. Mapeamento e revisão de mapas em escalas médias utilizando um monocomparador plotter digital e imagens digitais. Não publicado, 1987a.
- MENEGUETTE, A. Digital mono, comparador plotter. Users manual, Department of Geography, University of London, 19 páginas, 1987b.
- MENEGUETTE, A. Cartographic accuracy and information content of space imagery for digital map compilation and map revision. Ph. D. thesis, University of London, 464 páginas, 1987c.