

GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO PARA ATUALIZAÇÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS

Oscar Ricardo Vergara¹
Maria de Lourdes N.O. Kurkdjian²
Júlio César Lima d'Alge³
Madalena Niero Pereira³

¹Instituto Militar de Engenharia (IME) - DE/6
e-mail: vergara@epq.ime.eb.br

²Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) – IP&D
e-mail: mlourdes@univap.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - DPI
e-mail: julio@dpi.inpe.br

RESUMO

A falta de cartas topográficas atualizadas indica a necessidade de desenvolver métodos de atualização que permitam reduzir o dispêndio de tempo e recursos. Considerando as vantagens da utilização de imagens orbitais para fins cartográficos, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de produtos gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no contexto de metodologias de atualização cartográfica. É estudado o conteúdo de informação temática de diversos grupos de dados (TM-Landsat em banda 3 e composição colorida BGR 2,3,4; HRV-SPOT pancromáticos multiespectrais; imagem sintética). Estuda-se também a exatidão geométrica atingida utilizando esses produtos nos formatos analógico e digital. Os resultados indicam que, embora com restrições, essas imagens fornecem uma considerável quantidade da informação temática contida em cartas topográficas nas escalas 1:100.000 e 1:50.000. As avaliações geométricas mostram que, através das metodologias aplicadas, as transparências positivas TM com correção de sistema e SPOT de nível 1B permitem realizar atualização cartográfica em escala 1:250.000, existindo também a possibilidade de atualizar na escala 1:100.000. Imagens digitais SPOT de nível 1B corrigidas geometricamente através do registro imagem/carta, permitem atingir a exatidão geométrica das cartas 1:50.000, classe A.

ABSTRACT

The lack of updated cartographic maps demands the development of updating methodologies that allow saving time and resources. Considering the advantages of using satellite data for cartographic purposes, the aim of this work is to evaluate orbital images generated by National Institute of Spatial Research (INPE, Brazil), within the context of methodologies for cartographic map revision. Information content of different data sets is assessed (TM-Landsat Band 3 and colour composite BGR 2,3,4; HRV-SPOT panchromatic and multispectral data; synthetic image). The geometric accuracy attainable through the use of these products in analogical and digital format is also studied. The results show that these images provide a considerable amount of the typical thematic information of 1:100,000 and 1:50,000 topographic maps. The geometric evaluations indicate that both corrected TM and level 1B SPOT photographic products allow to accomplish cartographic updating at 1:250,000 scale. SPOT digital data, geometrically corrected through image/map registration, meet the standards of class A, 1:50,000 topographic maps.

INTRODUÇÃO

A falta de cartas topográficas atualizadas indica a necessidade de desenvolver métodos de atualização que permitam reduzir o dispêndio de tempo e recursos. Considerando as vantagens da utilização de imagens orbitais para fins cartográficos (alta resolução temporal; boa resolução espectral; resoluções espaciais cada vez mais finas; rapidez na aquisição de dados atuais do terreno; visão sinóptica da área de estudo), o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de produtos gerados pelo INPE (TM-Landsat analógicos; HRV-SPOT analógicos e digitais, imagem sintética) para fins de atualização de cartas topográficas.

Como área de estudo foi selecionado um módulo dentro da carta topográfica “São José dos Campos”, Estado de São Paulo, na escala 1:50.000, por ser uma região com um núcleo urbano de importância, diversidade nos tipos de uso do solo urbano e rural e um relevo com partes planas e outras mais acidentadas (altitudes variando entre 550 m e 800 m). A área de trabalho para os dados TM analógicos está compreendida entre os paralelos S23°06'34" e S23°15'00" e os meridianos O45°46'57" e O46°00'00". O módulo de estudo para os dados SPOT analógicos tem as seguintes coordenadas limites: S23°06'34" e S23°15'00"; O45°48'19" e O46°00'00". A área para os dados SPOT digitais está limitada pelas coordenadas S23°07'35" e S23°14'06"; O45°52'07" e O45°59'06".

MATERIAIS E SISTEMAS

Foram utilizados os seguintes materiais:

- 1) Carta topográfica “São José dos Campos, SP, na projeção UTM, escala 1:50.000 (Folha SF-23-Y-D-II-1), editada pelo IBGE no ano de 1973;
- 2) Dados TM-Landsat no formato analógico (transparências positivas) com correção geométrica de sistema para a projeção UTM (Tabela 1):

Tabela 1 – Dados TM-Landsat

Base/Ponto	Quadrante	Data	Banda
219/076	E	14-08-89	2(B), 3(G), 4(R)
219/076	E	14-08-89	3

- 3) Imagens HRV-SPOT nos modos pancromático (PAN) e multiespectral (XS), de nível 1B e visada aproximadamente vertical, nos formatos analógico (transparências positivas) e digital (Tabela 2):

Tabela 2 – Dados HRV-SPOT

K/J	Modo	Data	Inclinação
717/396	PAN	14-03-90	+ 2.0°
717/396	XS	18-08-89	+ 2.0°

Para a atualização com dados analógicos foi utilizado o projetor/amplificador cartográfico PROCOM-2. As imagens digitais foram processadas no SITIM (Sistema integrado de Tratamento de Imagens) desenvolvido no INPE, que está orientado para o processamento de

dados de Sensoriamento Remoto e suas aplicações. A atualização com dados digitais foi realizada no SGI (Sistema de Informação Geográfica de 1ª geração desenvolvido no mesmo Instituto) que se encontra disponível no mesmo ambiente do SITIM.

METODOLOGIAS

Os procedimentos aplicados para realizar a atualização com as imagens analógicas e digitais são descritos a seguir.

- **Atualização cartográfica com dados analógicos.** Foi aplicada a metodologia descrita por Turner e Stafford (1987), que consiste nas seguintes etapas:

- 1) Através do sistema PROCOM-2, as transparências positivas foram projetadas sobre a carta antiga para determinar o grau de desatualização do documento cartográfico mediante um processo de interpretação visual. Desta forma, as mudanças foram identificadas e posteriormente representadas numa transparência colocada sobre a carta. Nesta etapa se trabalhou com dados de fontes diversas (TM-Landsat e HRV-SPOT) com a finalidade de extrair, de cada um deles, a maior quantidade possível de informação temática para a atualizar a carta original. Assim foram obtidas 2 folhas atualizadas: uma delas correspondente aos dados TM e a outra com as informações tiradas das imagens SPOT. Para classificar a informação temática extraída das imagens tomou-se como base o Manual Técnico de Convenções Cartográficas (Brasil,1979).
- 2) Terminada a etapa anterior, foi realizado um levantamento de campo para eliminar dúvidas de classificação ocorridas durante a fotointerpretação. Os dados obtidos no trabalho de campo complementaram aqueles previamente extraídos dos produtos de Sensoriamento Remoto, com o que se considerou terminado o processo de atualização.
- 3) A última etapa consistiu em avaliar o conteúdo informativo e a exatidão geométrica das folhas atualizadas.

Para a primeira dessas avaliações foi aplicado o teste estatístico estabelecido por Ginevan (1979), usando-se como verdade terrestre fotografias aéreas na escala 1:25.000. Na aplicação do teste mencionado foram assumidos os seguintes valores, considerados razoáveis para avaliar mapeamentos realizados com dados de Sensoriamento Remoto orbital: $Q_2=0,85$; $\beta=0,05$; $Q_1=0,90$; $\alpha=0,45$; encontrando-se o número de amostras necessárias ($N=150$) e o número de erros de classificação aceitáveis ($X=15$).

- 4) Na avaliação da exatidão geométrica dos produtos atualizados foram considerados os requisitos de qualidade impostos pela legislação brasileira: No Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, a exatidão planimétrica das cartas classe A é definida estabelecendo que o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Planimétrico é igual a 0,5 mm na escala da carta (Brasil, 1986).

Para avaliar a geometria das cartas atualizadas foi aplicada uma transformação de similaridade, utilizando pontos de controle (PCs) obtidos por GPS com equipamento do Projeto PNUD/ICAO BRA-92/006. Com medição diferencial, o erro na obtenção das coordenadas dos pontos foi diminuído a menos de 10 m. Como PCs foram selecionadas feições claramente identificáveis tais como cruzamentos de estradas, pontes, viadutos, etc., uniformemente distribuídas na área de trabalho. Foram usados 16 PCs para avaliar a folha atualizada com os dados SPOT e 14 pontos para a obtida com a imagem TM. Pelo fato de as coordenadas medidas por GPS estarem referidas ao datum WGS 84, elas foram transformadas para Córrego Alegre, para serem compatíveis com as da carta utilizada como base de dados.

- **Atualização cartográfica com dados digitais.** Como já foi comentado, a atualização cartográfica utilizando imagens digitais foi realizada através de um Sistema de Informação Geográfica de 1ª geração, o SGI. Neste caso, foi aplicada a metodologia descrita por Vergara e d'Alge (1995). Segue uma descrição sucinta das suas etapas:

- 1) Inicialmente incorporou-se a informação desatualizada no Sistema de Informação Geográfica, tomando-se a carta antiga como base de dados. Para isso, foi criado um projeto de trabalho, definido por dados como escala (1:50.000), projeção cartográfica (UTM) e coordenadas limites da área de trabalho. Depois foram criados os planos de informação (PIs) correspondentes a cada grupo de dados (p.ex.: áreas urbanas, áreas com vegetação) para armazenar a informação a ser digitalizada da carta. A seguir foi realizada a calibração da carta com a mesa digitalizadora. Por último, através da digitalização das feições representadas na carta, os dados antigos foram incorporados aos PIs.
- 2) A seguir foram aplicadas diversas técnicas de processamento digital, destinadas a refinar a qualidade visual e geométrica das imagens. Nesta etapa também foram integrados os dados SPOT-PAN e SPOT-XS, criando uma imagem sintética que também foi utilizada no processo de atualização. Foram aplicadas as seguintes técnicas: Filtragem espacial (imagem SPOT-PAN); transformação IHS (fusão dos dados SPOT-PAN e SPOT-XS) (Vergara et al., 1996); registro imagem/imagem (SPOT-XS com a SPOT-PAN, na fusão dos dados); registro imagem/carta (imagens SPOT-PAN e SPOT-XS, imagem sintética) (Vergara et al., 1995).
- 3) Depois de completadas as etapas anteriores, as imagens previamente registradas foram ingressadas no Sistema de Informação Geográfica. A metodologia aplicada para a atualização com dados digitais consistiu na sucessiva sobreposição dos planos de informação antiga (previamente digitalizados da carta) sobre as imagens. Isto permitiu realizar um processo de fotointerpretação na tela, durante o qual foram identificados e posteriormente eliminados aqueles elementos que já não existem. A fotointerpretação visual também objetivou a detecção de novas feições, cujo ingresso no Sistema de Informação Geográfica foi realizado mediante digitalização na tela.

Para a obtenção dos PIs atualizados foram integradas no SGI as informações extraídas dos dados HRV-SPOT originais (PAN e XS) e da imagem sintética. A combinação de informação extraída de diferentes fontes teve como objetivo otimizar a obtenção de conteúdo informativo. Para isto, cada grupo de feições foi digitalizado na imagem que possibilitou sua melhor identificação durante o processo de fotointerpretação. Além

disso, no final desta etapa foram integrados também dados de campo, obtidos durante um levantamento realizado para esclarecer dúvidas de fotointerpretação. Finalmente, após terminada a atualização foi realizada a edição dos PIs.

- 4) A seguir, usando o módulo “Geração de Cartas” do SGI, foram criados o título, a escala nas suas representações gráfica e numérica, as coordenadas geográficas e de projeção cartográfica e as diferentes legendas incluídas numa carta topográfica. Por último, os PIs atualizados foram impressos na escala 1:50.000, inicialmente definida para o projeto de trabalho, sendo obtido o documento cartográfico atualizado.
- 5) Para avaliar a exatidão da classificação temática da carta atualizada com os dados digitais foi aplicado o método de Ginevan (1979), conforme o critério adotado na avaliação das cartas obtidas com dados analógicos. Como dados de verdade terrestre foram também usadas as aerofotos na escala 1:25.000, assumindo-se os mesmos valores de α , β , Q_1 e Q_2 .
- 6) A avaliação da exatidão geométrica foi realizada pelo mesmo procedimento descrito para os dados analógicos, utilizando os PCs que estavam localizados dentro do módulo de trabalho dos dados digitais. Neste caso, 9 pontos foram usados na avaliação.
- 7) Por último foi realizada a análise comparativa entre os resultados da carta atualizada com as imagens digitais e os obtidos através dos dados analógicos.

RESULTADOS

A partir dos materiais e das metodologias utilizados foram conseguidos os resultados apresentados nesta seção. Sob o ponto de vista do conteúdo informativo, a Tabela 3 mostra, resumidamente, as classes temáticas distinguidas em cada um dos grupos de dados estudados, indicando também o grau de facilidade com que cada uma dessas classes pôde ser reconhecida e mapeada durante o processo de atualização. Cabe destacar que limitações no conteúdo de informação temática das imagens estudadas fizeram necessário unificar algumas classes; por este motivo, o padrão seguido para a classificação temática apresenta algumas diferenças com respeito ao estabelecido pelas normas cartográficas.

Para avaliar a exatidão da classificação temática obtida com os diferentes grupos de imagens, 150 amostras de verdade terrestre foram escolhidas aleatoriamente. Foram encontrados 2 erros de classificação no carta gerada com as imagens SPOT analógicas, 3 erros no documento obtido com os dados TM no mesmo formato e 5 erros na carta atualizada com os dados SPOT digitais. Todos estes valores são muito inferiores à quantidade máxima de erros permitida pelo teste para o número de amostras utilizadas ($X = 15$ erros).

Como já mencionado, a avaliação geométrica dos 3 documentos cartográficos atualizados foi feita com PCs medidos por GPS. A diferença no número de pontos utilizados para avaliar os diferentes produtos deve-se ao fato de alguns PCs não serem bem identificados em todas as imagens e também às menores dimensões do módulo de trabalho para os dados digitais. A Tabela 4 mostra os correspondentes resultados.

Tabela 3 – Classes Temáticas Extraídas das Imagens

Dados	SPOT	TM	SPOT
Classes	Analógicas	Analógicas	Digitais
Rede viária	B*	B/R*	MB*
Ruas	M	M	R
Áreas urbanas	MB/R	MB/M	MB
Loteamentos novos	R*	R*	B*
Ferrovias	B/M	R/M	B
Pontes, viadutos	B/R	R/M	MB
Linhas alta tensão	R*	R*	B*
Pistas de pouso	B	B	**
Fábricas	B/R*	B/M*	MB
Áreas Institucionais	B*	R*	**
Construções rurais	B*	M	MB*
Áreas de mineração	MB	MB	MB
Vegetação densa	MB	MB	MB
Campo	MB	MB	MB
Culturas inverno	R*	R*	R*
Culturas verão	MB	MB	MB
Rios	MB	MB	MB
Corpos d'água	MB	MB	MB

Observações:

* Com informação adicional

** Fora do módulo de estudo

MB = Identificação e mapeamento Muito Bons

B = “ “ Bons

R = “ “ Regulares

M = “ “ Maus

Tabela 4 – Resultados da Avaliação Geométrica das Cartas Atualizadas

Pontos	SPOT Digitais			SPOT Analógicos			TM Analógicos		
	ΔX	ΔY	ΔT	ΔX	ΔY	ΔT	ΔX	ΔY	ΔT
1	-14,69	-10,70	18,17	2,72	2,60	3,76	-98,82	-45,17	108,65
2	21,90	3,27	22,14	21,70	-17,41	27,82	-12,17	-22,55	25,63
3	-19,03	17,14	25,61	-4,63	25,11	25,53	72,58	-7,63	72,98
4	-15,53	-8,80	17,85	-42,31	36,09	55,61	-	-	-
5	2,80	-11,53	11,86	45,63	35,55	57,84	2,03	3,15	3,75
6	-	-	-	19,51	-39,13	43,72	-7,74	-16,39	18,13
7	11,97	-4,80	12,89	-69,85	-23,67	73,75	8,28	11,38	14,08
8	13,58	16,22	21,15	-46,91	-21,57	51,63	-	-	-
9	-4,15	-4,82	6,36	44,24	-29,24	53,03	6,06	42,01	42,45
10	-	-	-	9,90	-1,49	10,02	-46,01	13,60	47,98
11	-	-	-	31,91	-7,22	32,72	-14,75	-49,24	51,40
12	3,14	4,03	5,10	1,23	4,93	5,08	3,21	19,77	20,03
13	-	-	-	-38,51	40,98	56,24	28,12	51,64	58,80
14	-	-	-	45,80	-3,54	45,93	39,85	-23,61	46,32
15	-	-	-	25,56	-34,83	43,20	37,20	13,07	39,42
16	-	-	-	-45,99	32,87	56,53	-18,05	10,00	20,63
EMQ (X)	14,409347			37,642997			40,934723		
EMQ (Y)	10,926375			27,058151			29,450209		
EMQ (T)	18,083555			46,358805			50,427833		

CONCLUSÕES

Com base nos resultados da avaliação da classificação temática pode se concluir que todos os grupos de dados estudados são uma boa fonte de informação para mapear as classes definidas no desenvolvimento deste trabalho. Porém, apresentam maiores restrições se comparados com o padrão estabelecido pelas convenções cartográficas para cartas topográficas (Brasil, 1975). Quanto aos dados TM-Landsat, ficaria pendente a questão relativa ao estudo de outras composições coloridas, com a finalidade de aproveitar a sua alta resolução espectral e testar seu desempenho na identificação das classes onde a composição BGR 2,3,4 mostrou suas maiores limitações, devidas à sua baixa resolução espacial, caso das feições da rede viária e de áreas intra-urbanas.

No que diz respeito às imagens analógicas HRV-SPOT, o estudo realizado demonstra que, apesar das limitações comentadas, uma considerável quantidade de informação temática pode ser encontrada nesses produtos. Isto é devido à boa resolução espacial dos dados SPOT, especialmente no modo PAN, que permite uma melhor identificação (especialmente em relação à banda 3 do TM) de feições tais como estradas, pontes e viadutos, áreas industriais e limites de

áreas urbanas. A comparação geral dos documentos atualizados com ambos os grupos de dados analógicos (TM e SPOT) não mostra, entretanto, diferenças importantes de conteúdo de informação temática.

Já os dados digitais HRV-SPOT processados no SITIM versão 2.4 permitiram realizar um mapeamento temático com maior riqueza de detalhes, identificando feições que não foram detectadas nas imagens analógicas. Por sua vez, o produto sintético permitiu uma identificação mais segura de áreas industriais de grande e pequeno porte e dos limites de áreas urbanas. Porém, nas áreas intra-urbanas a informação fornecida por essas imagens resultou ainda insuficiente para atingir o nível de detalhamento das cartas topográficas nas escalas 1:100.000 e 1:50.000, embora tenha sido possível distinguir e digitalizar uma parte do arruamento e outras feições tais como espaços públicos e algumas construções. Portanto, cabe concluir que o refinamento da qualidade visual das imagens, conseguido através do processamento digital, permitiu uma identificação e uma digitalização mais seguras de grande parte das classes de feições, aumentando a quantidade de informação que pôde ser extraída das imagens. Entretanto, não dispensa as fontes de dados complementares.

Considerando o aspecto geométrico, os resultados das avaliações realizadas indicam que, através das metodologias aplicadas, as transparências positivas TM-Landsat com correção de sistema e HRV-SPOT com nível 1B de processamento permitem obter a exatidão geométrica requerida para atualizar cartas topográficas na escala 1:250.000, existindo também a possibilidade de atualizar na escala 1:100.000. Entretanto, levando-se em consideração os valores mostrados por essas avaliações e sendo que este assunto envolve uma questão estatística delicada como é o tamanho mínimo que deve ter a amostra para que o teste possa ser efetivamente aplicado, considera-se necessário continuar nesta mesma linha de pesquisa em outros trabalhos com a finalidade de dar uma resposta mais definitiva. Isto é devido à importância do tema relativo tanto à quantidade quanto à distribuição espacial de PCs necessários para que uma avaliação estatística forneça resultados representativos.

Quanto aos dados digitais HRV-SPOT de nível 1B, os resultados mostram que dentro de um módulo bastante menor do que a carta (10 km x 10 km) e num ambiente como o dos sistemas SITIM/SGL, a correção geométrica conseguida através de um bom registro imagem/carta permitiu atingir a exatidão geométrica das cartas classe A, na escala 1:50.000, considerando-se fundamental selecionar PCs muito confiáveis, uniformemente distribuídos dentro da área de trabalho, para a obtenção de bons resultados. Entretanto, também neste caso considera-se conveniente conferir os resultados com os de outros trabalhos, pois eles podem ser afetados pelas características da área de estudo (magnitude do relevo) e das imagens utilizadas (grau de inclinação) e também pelos fatores referentes aos pontos de controle utilizados para o registro e para a avaliação geométrica (quantidade, qualidade e distribuição espacial).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brasil. Ministério do Exército. Estado Maior do Exército. **Convenções Cartográficas – Manual Técnico** 1 e 2 Partes. Brasília, 1975.

Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia. **Cartografia e Aerolevantamento - Legislação**. Brasília, 1986. Cap. II, p. 26-27.

- Ginevan, M.E. Testing land use accuracy; another look. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 45(10):1371-1377, 1979.
- Turner, A.M.; Stafford, D.R. Operational revision of national topographic maps in Canada using LANDSAT imagens. **ITC Journal**, (2):123-128, 1987.
- Vergara, O.R.; d'Alge, J.C.L. Metodologia para a atualização de cartas topográficas com produtos de Sensoriamento Remoto e SIG. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, 17., Salvador, 30 jul.-04 ago. 1995. **Anais**, v. Sensoriamento Remoto, p. 741-747. São José dos Campos, INPE, 1995. (INPE-5652-PRE/1827).
- Vergara, O.R.; d'Alge, J.C.L.; Fitzgibbon, K.T.; Erthal, G.J. Geometric accuracy of a cartographic product at 1:50,000 scale updated by digital HRV-SPOT images at level 1B. In: **International Cartographic Conference**, 17., Barcelona, Spain, 03-09 sep. 1995. **Proceedings**, v.1, p. 610-614. São José dos Campos, INPE, 1995. (INPE-5653-PRE/1828).
- Vergara, O.R.; Candeias, A.L.B.; Kurkdjian, M.L.N.O. Data fusion in urban cartography. In: **ISPRS Congress**, 18., Vienna, Austria, 09-19 july 1996. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vienna, Austria, ASPRS, v.31, pt. B7, p. 734-737. São José dos Campos, INPE, 1996. (INPE-6128-PRE-2229).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro concedido.