

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DE DOCUMENTOS ATUALIZADOS COM IMAGENS ORBITAIS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Comissão Técnica V: Sensoriamento Remoto e Interpretação de Imagens

Oscar Ricardo Vergara¹

Jorge Pimentel Cintra²

Júlio César Lima d'Alge³

¹Instituto Militar de Engenharia (IME)

Departamento de Engenharia Cartográfica (DE/6)

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro, RJ – CEP 22290-270

vergara@epq.ime.eb.br

²Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

Departamento de Engenharia de Transportes

Caixa Postal 61.548 – São Paulo, SP – CEP 05424-970

jpcintra@usp.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Divisão de Processamento de Imagens (DPI)

Caixa Postal 515 – São José dos Campos, SP – CEP 12201-970

julio@dpi.inpe.br

RESUMO

Nos níveis de pré-processamento das imagens orbitais utilizadas neste trabalho (TM-Landsat de nível 4 e HRV-SPOT de nível 1B) não são aplicadas correções geométricas para qualquer projeção cartográfica e, por tal motivo, esses produtos não podem ser considerados apropriados para aplicações de cartografia topográfica, salvo que algum refinamento geométrico adicional seja realizado pelo usuário. O objetivo deste trabalho foi melhorar a geometria desses dados originais, antes de serem utilizados no contexto de uma metodologia de atualização cartográfica envolvendo também o uso de um sistema de informação geográfica. Para compensar o baixo nível de processamento geométrico, esses produtos foram georreferenciados através de operações de registro muito precisas. A seguir, as imagens foram submetidas a diferentes técnicas de processamento digital e logo separadas em três grupos diferentes, de acordo com o tipo de processamento aplicado. Com cada um desses grupos de dados gerou-se uma carta atualizada, na escala 1:50.000, com exatidão própria da classe B e bastante próximas do padrão de exatidão geométrico das cartas classe A.

ABSTRACT

The satellite images used in this work, LANDSAT-5 TM level 4 and SPOT HRV level 1B, are not corrected for systematic errors that occur during image acquisition. Therefore, unless an additional geometric correction refinement is applied, those images are not suitable for cartographic applications. This work aims at improving the geometric quality of the original images used for map revision purposes in the context of a methodology using geographic information systems technology. First, the images were submitted to very accurate registration procedures. They were then separated into three different groups, according to different image processing techniques used. One 1:50,000 updated map was created for each group. The updated maps conform to class B mapping standards and are actually close to class A standards.

1 INTRODUÇÃO

Entre as principais causas da falta de cartas topográficas atualizadas que afeta muitos países estão a inexistência de bases de dados em grande escala, o fato de problemas ambientais e mudanças globais não serem assuntos prioritários, a falta de apoio político e

financeiro para a solução de problemas ambientais e, em alguns casos, o tratamento reservado que se dá a boa parte da informação que deveria ser incluída em documentos cartográficos (Estes e Mooneyhan, 1994). A essas razões cabe agregar que a atualização de cartas topográficas e também a produção de cartas originais para regiões ainda não mapeadas, são tarefas

reconhecidamente complexas, lentas e caras. Como consequência, há falta de informação atualizada para extensas regiões do planeta.

Em anos recentes, a evolução dos sistemas de informação geográfica (SIGs) e de processamento de imagens viabilizou a integração das áreas de sensoriamento remoto e de cartografia digital para fins de mapeamento, e foram testadas metodologias para a atualização de cartas topográficas, utilizando imagens orbitais em formato digital (por exemplo, Ferreira, 1988; Vergara e d'Alge, 1995). Na aplicação destas metodologias alternativas, deve ser levado em conta que há dois requisitos que devem ser satisfeitos para se obter um produto final com a exatidão exigida pelas normas cartográficas: 1) A exatidão geométrica das imagens; 2) O seu conteúdo informativo.

Este trabalho aborda a questão geométrica e faz parte de uma pesquisa destinada a testar o limite das possibilidades de atualizar cartas topográficas com metodologias baseadas na utilização de dados de sensoriamento remoto orbital e SIGs, dentro dos padrões de qualidade exigidos pelas normas cartográficas vigentes no Brasil. Foram levadas em consideração as correções geométricas realizadas nos níveis de pré-processamento das imagens utilizadas (TM-Landsat de nível 4 e HRV-SPOT de nível 1B): os dados TM de nível 4 não têm corrigido o efeito de rotação da Terra, enquanto essa correção é realizada nas imagens SPOT de nível 1B. Entretanto, em nenhum dos produtos mencionados são aplicadas correções geométricas para qualquer projeção cartográfica e, por tal motivo, eles não podem ser considerados apropriados para aplicações de cartografia topográfica, salvo que algum refinamento geométrico adicional seja realizado pelo próprio usuário.

A correção geométrica de uma imagem pode ser realizada através de um dos seguintes métodos (Mather, 1999; Richards, 1986): 1) *Modelo paramétrico*: Consiste em estabelecer modelos de correção que levem em conta as causas de distorção geométrica em imagens orbitais, tais como a Terra, a plataforma e o sensor. A aplicação deste modelo torna necessário o conhecimento da geometria de visada e permite atingir uma alta precisão na correção geométrica da imagem, desde que os parâmetros orbitais sejam conhecidos com boa aproximação; 2) *Modelo polinomial*: É estabelecida uma correspondência entre o sistema de coordenadas da imagem (linha, coluna) e um outro sistema de coordenadas escolhido como referência (p.ex.: coordenadas geográficas; uma projeção cartográfica), utilizando pontos de controle (PCs) cuja localização é conhecida em ambos os sistemas. A transformação geométrica pode ser realizada através da operação de registro da imagem, que permite mapear as coordenadas dos PCs de um sistema para o outro e vice-versa; isto torna possível gerar uma imagem geometricamente corrigida. Geralmente, o modelo de

transformação é um polinômio de ordem n , sendo a transformação afim, que pode ser expressa através de um polinômio de primeira ordem, um dos modelos mais utilizados. A correção geométrica de imagens através da operação de registro é um método mais empírico que o modelo paramétrico e, embora menos preciso do que este, tem a vantagem de não requerer o conhecimento dos parâmetros orbitais, sendo necessário, apenas, contar com PCs precisos em quantidade suficiente, adequadamente distribuídos na área de trabalho. A obtenção desses pontos pode ser conseguida por medição através de GPS ou via digitalização de uma carta topográfica.

Em consequência dos antecedentes expostos foram fixados os seguintes objetivos: 1) Através da operação de registro de imagens, melhorar a geometria dos dados utilizados para atualizar cartas topográficas na escala 1:50.000, no contexto de uma metodologia que envolve o uso de um SIG de 2ª geração e imagens originais TM-Landsat e HRV-SPOT; 2) Avaliar a geometria dos documentos cartográficos atualizados através de tal metodologia, para conhecer a qualidade geométrica atingida com relação aos padrões de exatidão estabelecidos pela legislação brasileira.

A área de trabalho foi um módulo de 10240 m x 10240 m pertencente à carta topográfica "Rio Claro" (SP) na escala 1:50.000, do IBGE. As principais características do setor escolhido são: a presença das áreas urbanas de Rio Claro e Santa Gertrudes; uso da terra variado, no seu entorno; relevo com altitudes que variam entre 540 m e 725 m.

2 SISTEMAS E MATERIAIS

O trabalho foi realizado no programa SPRING, SIG de 2ª geração desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os SIGs de 2ª geração são sistemas concebidos como bancos de dados geográficos para trabalhar em ambiente cliente-servidor com as ferramentas próprias dos sistemas de informação e operações de processamento de imagens (NETGIS, 1997).

As imagens a serem geometricamente corrigidas foram os seguintes dados originais de sensoriamento remoto orbital, gerados no INPE: bandas TM do Landsat 5 sem correção geométrica de sistema (nível 4 de processamento), da passagem de 05/07/95; HRV-SPOT pancromática (PAN) com nível 1B de processamento e visada oblíqua (15,5°), obtida em 21/08/95; HRV-SPOT multiespectral (XS) de nível 1B e visada vertical (1,8°), de 18/06/94. Levando em conta o já explicado sobre as correções geométricas das imagens nesses níveis de processamento, a etapa de avaliação da geometria das cartas atualizadas teve por finalidade verificar se, através da metodologia aplicada e utilizando imagens com essas características, é

possível atingir uma qualidade geométrica compatível com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) planimétrico de alguma das classes regulamentadas pela legislação brasileira para as cartas topográficas (Brasil, 1986).

Foram utilizados os seguintes documentos cartográficos: 1) Litos da carta topográfica “Rio Claro”, escala 1:50.000, projeção UTM, datum Córrego Alegre (Folha SF-23-M-I-4) editada em 1969 pelo IBGE; 2) 8 cartas topográficas do IGC, na escala 1:10.000, projeção UTM (Córrego Alegre), que cobrem a área do trabalho. Não sendo possível conseguir os originais das cartas do IGC, cópias heliográficas cuja geometria foi previamente testada forneceram os PCs necessários na etapa final de avaliação da geometria dos produtos cartográficos atualizados.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi subdividida nas seguintes etapas:

1) **Georreferenciamento das imagens:** A correção geométrica das imagens foi realizada através da operação de registro, já mencionada, que consiste na sobreposição de duas ou mais imagens da mesma área de modo que pontos correspondentes coincidam no espaço. Nesta operação, uma das imagens (imagem de referência) é tomada como padrão para corrigir a geometria da outra (imagem de ajuste). O registro de uma imagem digital é realizado através das seguintes etapas:

a) *Determinação da transformação geométrica:* Determina-se um modelo matemático t que permita estabelecer a correspondência entre ambas as imagens. Para isto geralmente são usados modelos polinomiais, sendo aconselhável utilizar o polinômio de menor ordem que permita corrigir as distorções geométricas da imagem com a precisão requerida; este modelo deve admitir seu inverso (t^{-1}) (Fonseca e Manjunath, 1996). Na determinação dos coeficientes da função t utilizam-se PCs identificáveis em ambas as imagens e, portanto, a quantidade de pontos necessários para realizar o registro depende da ordem do polinômio usado. Contudo, sempre que possível, devem ser utilizados mais pontos para poder calcular os coeficientes pelo método dos mínimos quadrados (Richards, 1986).

No programa SPRING são usados dois grupos de PCs: i) *Pontos de controle:* Está constituído pelos pontos utilizados para determinar os coeficientes de t . Uma distribuição espacial uniforme destes PCs sobre toda a superfície da imagem é necessária para se obter um registro preciso; ii) *Pontos de teste:* Estes pontos fornecem, através dos seus valores de erro, a estimativa mais confiável da precisão alcançada no registro. Não

existem maiores requisitos quanto à quantidade e distribuição espacial dos pontos de teste. Uma vez estimada a transformação geométrica t , usa-se t^{-1} para criar uma imagem geometricamente modificada;

b) *Interpolação e reamostragem:* Em se tratando de imagens digitais, os *pixels* da imagem corrigida através da transformação inversa t^{-1} não necessariamente têm níveis de cinza associados, sendo necessária esta etapa para definir os novos valores. As seguintes técnicas são usadas para esses fins (Star e Estes 1990; Mather 1999): i) *Vizinho mais próximo:* Este interpolador fornece uma imagem que só tem os valores de cinza originais, com a sua localização adaptada à nova geometria da imagem corrigida; isto pode ser uma vantagem quando vão ser aplicados classificadores. Uma desvantagem é que podem ser eliminadas as transições graduais de tons de cinza na imagem transformada, por causa da repetição de alguns desses valores; ii) *Interpolador bilinear:* Este método exige maior volume de cálculo e produz imagens de aparência mais suave do que as obtidas através do vizinho mais próximo, mas ocasiona uma leve diminuição da resolução da imagem; iii) *Convolução cúbica:* Esta técnica produz, na imagem resultante, uma aparência mais natural que o vizinho mais próximo e uma degradação espacial menor que o interpolador bilinear, o que a torna apropriada para realizar interpretação visual. Entretanto, pode ocasionar tonalidades de cinza diferentes das originais, não sendo conveniente seu uso quando vão ser aplicados classificadores.

A escolha do método de interpolação a ser utilizado depende da aplicação. No caso de atualização de cartas topográficas através da metodologia aplicada neste trabalho, a classificação temática é realizada através de um processo de fotointerpretação visual na tela, sendo conveniente manter a resolução espacial da imagem devido à grande diversidade de classes que devem ser incluídas neste tipo de documento. Portanto, para esta aplicação é recomendável usar o interpolador bicúbico.

Na realização desta etapa, primeiro foi georreferenciada a imagem SPOT-PAN através do seu registro com a carta topográfica. Embora seja recomendável efetuar esta operação usando cartas em escala maior que a do trabalho para aumentar a precisão do registro, neste caso adotou-se o critério de utilizar a carta 1:50.000 por não estarem disponíveis, nesse momento da pesquisa, as cartas 1:10.000 e, por outro lado, porque na aplicação da metodologia tentou-se reproduzir as condições de trabalho dos usuários, que, com frequência, não dispõem de cartas em escalas maiores, como essa do IGC que só existe para cerca da metade do Estado de São Paulo.

Para esse registro (imagem/carta) foi utilizado o lito da rede viária da carta que, apesar do importante

grau de desatualização, permitiu identificar considerável quantidade de feições bem definidas também na imagem SPOT-PAN, tais como cruzamentos de estradas e pontes, com adequada distribuição espacial na área de estudo. Para poder contar com uma quantidade suficiente de PCs, decidiu-se trabalhar, nesta etapa, com um setor da imagem abrangendo a totalidade da carta topográfica na escala 1:50.000. Deste modo foi possível selecionar 20 PCs de muito boa qualidade, utilizando-se 9 para o mapeamento e 11 para avaliar o erro do registro. Este foi da ordem de 0,112 *pixel*.

Por sua vez, o georreferenciamento da imagem SPOT-XS e das bandas TM-Landsat foi realizado utilizando a imagem SPOT-PAN, considerada como imagem de referência porquanto já estava registrada com a carta. Para o registro imagem/imagem das bandas SPOT-XS selecionaram-se 24 PCs de qualidade, sendo utilizados 12 para o mapeamento e os restantes para testar a qualidade da operação, obtendo-se um erro total de 0,125 *pixel* para os pontos de teste.

Quanto à imagem TM-Landsat, ela foi registrada utilizando-se 6 pontos de controle para o mapeamento e 9 para o teste, sendo atingido, para este último grupo, um erro total de 0,080 *pixel*.

Levando em consideração tanto o tamanho do *pixel* nas diferentes imagens originais quanto os valores de erros, conclui-se que o georreferenciamento foi realizado com uma exatidão de 1,12 m para a imagem SPOT-PAN e de 2,50 m e 2,40 m no caso das bandas SPOT-XS e TM-Landsat, respectivamente. Cabe destacar que todos estes resultados são considerados excelentes para a escala do trabalho (1:50.000).

2) Geração das cartas atualizadas: Após o seu georreferenciamento, as imagens foram utilizadas como fonte de informação temática para realizar a atualização cartográfica, aplicando uma metodologia que é apresentada detalhadamente em Vergara (1999) e Vergara e Cintra (2001). A seqüência desses procedimentos de atualização é resumida a seguir: i) *Processamento digital das imagens:* foram aplicadas diferentes técnicas de processamento digital de imagens (filtragem espacial, restauração, fusão de dados), com o intuito de gerar produtos que facilitassem a etapa de interpretação visual. A seguir, as imagens foram agrupadas de acordo com o tipo de técnica aplicada para gerá-las: transformação IHS (grupo B); transformada *wavelet* (grupo C); o grupo A incluiu as imagens originais ou com pouco processamento (filtragem); ii) *Atualização da base de dados:* A partir de cada um desses três grupos de imagens tomados de forma independente, a informação temática foi atualizada através de um processo de fotointerpretação e digitalização na tela; no final desta etapa, informação extraída de fotografias aéreas na escala 1:25.000 e de trabalho de campo foi integrada à obtida das imagens. Deste modo, foram geradas três cartas atualizadas; iii)

Plotagem dos dados vetoriais: Utilizando o aplicativo Scarta criou-se a moldura das cartas e integraram-se os dados vetoriais atualizados, gerando-se os arquivos necessários para imprimir as três cartas.

3) Avaliação da geometria das cartas: A avaliação da geometria das cartas atualizadas foi realizada através de uma transformação de similaridade, modelo matemático (equação 1) com quatro parâmetros, correspondentes a outros tantos graus de liberdade (um fator de escala, uma rotação e duas translações):

$$\begin{aligned} X'_i &= aX_i + bY_i + X'_0 \\ Y'_i &= -bX_i + aY_i + Y'_0 \end{aligned} \quad (1)$$

onde:

$X'_i ; Y'_i$ = coordenadas dos PCs padrão;

$X_i ; Y_i$ = coordenadas dos PCs das cartas avaliadas;

$X'_0 ; Y'_0$ = translações nas direções dos eixos X e Y ;

$a = K \cos \theta$;

$b = K \sin \theta$;

θ = ângulo de rotação;

K = fator de escala.

Como foi mencionado, as coordenadas dos pontos de controle foram obtidas de cópias heliográficas das cartas 1:10.000 editadas pelo IGC em 1975, consideradas, a princípio, mais exatas que a carta 1:50.000 do IBGE, em função da escala. Entretanto, como passo prévio à medição dos PC, considerou-se necessário verificar se a qualidade geométrica dessas cópias se enquadrava dentro do padrão de exatidão exigido pelas normas cartográficas. Para isso, e confiando que, na elaboração das cartas, o IGC obedece ao padrão cartográfico, decidiu-se testar a magnitude das deformações próprias do papel em que são obtidas as cópias heliográficas. Esse controle de qualidade foi considerado essencial na tomada de decisão sobre utilizar essa fonte para obter as coordenadas dos PCs ou optar por medi-las através do GPS.

Em função disso, para realizar o teste foram escolhidas de modo aleatório duas cartas 1:10.000, do total de 8 que cobrem a área de trabalho. Nelas foram medidas, através da mesa digitalizadora, as coordenadas dos vértices de quadrados definidos pelas linhas de coordenadas (malha) da projeção cartográfica das cartas. Os quadrados escolhidos estavam localizados tanto nas vizinhanças das bordas das cartas como nas suas partes centrais para permitir a detecção de possíveis deformações, decorrentes de diversos fatores (umidade, calor, etc.), presentes em diferentes setores das folhas. Cada vértice foi digitalizado quatro vezes e

na avaliação foi usada a média aritmética desses valores. Como padrão de referência foi utilizado o conjunto dos correspondentes valores nominais de coordenadas que constam nas linhas da malha. Os resultados mostraram erros locais de até 4,3 m (0,43 mm na escala 10.000) em mais de 90% dos vértices e erro médio geral (para cada carta como um todo) não maior que 2,5 m (0,25 mm na escala citada).

Para garantir que os resultados da avaliação estivessem isentos de qualquer modelagem feita através da função usada na operação de calibração da carta (transformação afim), que poderia mascarar deformações geométricas existentes nas folhas, estas foram submetidas a um segundo teste. Neste caso, foram usados os valores de coordenadas de mesa (em mm) que o programa fornece quando da digitalização de pontos (no caso, vértices da malha). Como referência utilizou-se um sistema local de coordenadas em mm, em que os valores x, y de cada vértice estavam representados pela distância real a um deles, tomado como origem. Os resultados desta segunda avaliação mostraram erros locais variando entre 0,02 mm e 0,50 mm e erro geral, para cada carta, de até 0,32 mm.

Considerando que o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) planimétrico definido pela legislação brasileira estabelece, para cartas topográficas classe A, um erro máximo aceitável de 0,5 mm na escala da carta em 90% dos PCs utilizados (Brasil, 1986), os resultados das duas avaliações indicam erros inferiores a essa tolerância. Portanto, concluiu-se que as cópias heliográficas das cartas 1:10.000 poderiam ser utilizados como uma fonte satisfatória para extrair os PCs a serem usados na avaliação geométrica das cartas atualizadas.

Como PCs foram escolhidas feições que, não tendo mudado desde a época das cartas do IGC, reunissem também os seguintes requisitos: a) Qualidade (boa identificação nas cópias heliográficas e nas cartas a serem avaliadas); b) Distribuição espacial o mais uniforme possível sobre toda a área de estudo; c) Quantidade adequada para a obtenção de resultados representativos. Levando em conta estas características foram selecionados 35 PCs para avaliar a geometria da carta atualizada a partir das imagens do grupo A (dados multiespectrais originais e a imagem SPOT-PAN filtrada). De forma semelhante, escolheram-se 32 PCs para a avaliação da carta gerada com as imagens sintéticas obtidas através da transformação IHS (grupo B), enquanto 30 pontos foram usados para testar geometricamente a carta elaborada com os produtos sintéticos processados através da transformada *wavelet* (grupo C).

Por outro lado, com a finalidade de verificar o grau em que o processo de impressão afeta a qualidade geométrica das cartas, foi avaliada também a geometria dos dados vetoriais atualizados, antes da plotagem. Para

averiguar a magnitude destes erros, os dados vetoriais de cada uma das três cartas atualizadas foram sucessivamente carregados na unidade visualizadora e, com o cursor de tela, foram medidas as coordenadas dos PCs. A seguir, esses valores de coordenadas foram utilizados para aplicar a transformação de similaridade.

4 RESULTADOS

Desse modo foi testada a qualidade geométrica dos dados vetoriais antes da sua impressão. Apresentam-se, a seguir, os erros de cada grupo: a) *Dados vetoriais do grupo A*: Erro geral (representado pelo Erro Médio Quadrático) de 17,78 m; erros locais inferiores a 25 m em 32 dos 35 PCs. Os três pontos com erros superiores à tolerância apresentaram os seguintes valores: 27,2 m; 36,7 m; 48,5 m; b) *Dados vetoriais do grupo B*: Erro geral de 17,68 m e erros locais menores que a tolerância em 29 PCs, do total de 32 utilizados. Quanto aos erros nos três pontos restantes, eles variam entre 34,0 m e 45,6 m; c) *Dados vetoriais do grupo C*: Erro geral de 16,77 m e erros locais de menos de 25 m em 28 PCs, do total de 30. Os dois erros que ultrapassam a tolerância têm valores de 34,7 m e 31,5 m.

Lembre-se que estes erros, bem como os das folhas após a plotagem, apresentados mais adiante, devem ser confrontados com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Planimétrico instituído para as cartas topográficas nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Brasil, 1986). Essas normas indicam que 90% dos pontos de uma carta, quando testados, devem possuir erro que não ultrapasse o PEC Planimétrico, que é estabelecido em 0,5 mm na escala da carta para a classe A; 0,8 mm para a classe B e 1 mm para a classe C. Portanto, para cartas classe A na escala deste trabalho (1:50.000), o erro máximo aceitável associado ao PEC Planimétrico é de 25 m. Analisando os valores apresentados pode-se dizer que, antes da plotagem, a exatidão geométrica alcançada nos três grupos de dados temáticos atualizados satisfaz o PEC planimétrico da classe A, não existindo diferenças significativas entre os grupos.

A seguir, foi testada a geometria das cartas atualizadas, após a plotagem. Para isto, utilizaram-se os mesmos PCs das avaliações precedentes, sendo também aplicada uma transformação de similaridade. Os erros apresentaram os seguintes valores: a) *Carta do grupo A*: 20,12 m de erro geral que, juntamente com os erros totais em 29 dos 35 PCs utilizados, é inferior à tolerância de 25 m, enquanto os restantes 6 pontos têm valores oscilando entre 25,6 m e 37,1 m; b) *Carta do grupo B*: Erro geral de 18,10 m e erros locais menores que 25 m em 29 dos 32 PCs utilizados. Os três pontos restantes têm os seguintes valores: 37,5 m; 26,6 m e 47,1 m; c) *Carta do grupo C*: Erro geral de 18,83 m e erros locais inferiores à tolerância cartográfica em 25

pontos do total de 30 PCs. Neste caso, são 5 os pontos com erros maiores que 25 m, variando entre 25,6 m e 33,6 m.

Os valores apresentados mostram que, apesar de todas as cartas terem erros gerais bastante inferiores a 25 m, somente uma delas (a do grupo B) satisfaz o requisito de ter não mais de 10% dos pontos de controle (3 PCs, no caso) com seus erros ultrapassando o valor máximo aceitável. Por sua vez, a carta do grupo A apresenta 6 pontos (17,14% do total de 35 PCs) com erros superiores à tolerância, enquanto a carta do grupo C tem erros maiores que 25 m em 5 pontos sobre um total de 30 (16,66%).

Comparando estes erros com os correspondentes aos dados vetoriais antes da plotagem, revela-se uma diminuição da qualidade geométrica nas folhas impressas que pode ser atribuída tanto ao processo de plotagem dos dados quanto às operações necessárias para obter as coordenadas dos PCs sobre essas folhas (calibração das cartas, digitalização dos pontos). Seria interessante um estudo mais aprofundado, procurando separar essas componentes e identificando, pelo menos, a magnitude do erro que se pode atribuir à mesa digitalizadora.

Por outro lado, convém lembrar que as imagens originais utilizadas neste trabalho não tinham um nível de correção geométrica adequado para aplicações cartográficas, ao que se deve agregar, no caso da imagem SPOT-PAN, a fonte de erro representada pela visada oblíqua (15,5°). Consequentemente, o nível de exatidão geométrica atingido nas três cartas (qualidade dentro do padrão cartográfico da classe A para a carta do grupo B e valores bastante próximos para as cartas A e C) pode ser atribuído à correção geométrica conseguida através das operações de registro.

5 CONCLUSÕES

De todo o exposto pode-se concluir que a metodologia e os materiais utilizados permitiram obter documentos cartográficos atualizados que se aproximam, no geométrico, dos requisitos impostos pelas normas cartográficas para as cartas topográficas classe A, sem chegar a satisfazê-los totalmente. Porém, seria conveniente levar em conta que a legislação brasileira regulamenta também a exatidão geométrica exigida para as cartas das classes B e C (Brasil, 1986) e, portanto, prevê a sua produção e uso, o que é desejável em momentos em que não se dispõe dos recursos necessários para elaborar cartas com maior padrão de qualidade. Sendo que o PEC planimétrico da classe B é fixado em 0,8 mm na escala da carta (40 m para a escala 1:50.000), fica claro que as folhas impressas satisfazem a esse requisito de exatidão.

Os resultados obtidos neste trabalho são coerentes com os de outras pesquisas realizadas no Brasil para avaliar as potencialidades das imagens de sensoriamento remoto orbital para atualização cartográfica (Vergara, 1994; Viadana, 1995) e confirmam que, no estágio atual, a escala 1:50.000 é, com algumas restrições nos aspectos geométrico e também no temático (Vergara e Cintra, 2001), o limite da utilidade, para estes fins, dos produtos TM-Landsat e HRV-SPOT. É conveniente levar em consideração, além disso, que as restrições apontadas no presente trabalho decrescem na medida em que se trabalha em escalas menores que a mencionada.

6 REFERÊNCIAS

- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia, 1986. Cartografia e Aerolevantamento: Legislação. Brasília, D.F., Brasil.
- Estes, J.E. e D.W. Mooneyhan, 1994. Of maps and myths. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, N° 5, pp. 517-524.
- Ferreira, N.A., 1988. Um sistema para atualização de documentos cartográficos em ambientes de microcomputadores. (Dissertação de Mestrado). IME, Rio de Janeiro, Brasil.
- Fonseca, L.M.G e B.S. Manjunath, 1996. Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 62, N° 9, pp.1049-1056.
- Mather, P.M., 1999. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, England, 365 páginas.
- NETGIS - Geoprocessamento e Informática Ltda., 1997. SPRING 2.0. São José dos Campos, SP, Brasil. 4 volumes, 815 páginas.
- Star, J.; J. Estes, 1990. Geographic Information Systems: an introduction. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 303 pages.
- Richards, J.A, 1986. Remote Sensing digital image analysis. An introduction. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 281 páginas.
- Vergara, O.R., 1994. Avaliação de produtos de sensoriamento remoto para fins de atualização cartográfica. (Dissertação de Mestrado). INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. 161 páginas. (INPE-5584-TDI/546).

Vergara, O.R. e J.C.L. d'Alge, 1995. Metodologia para a atualização de cartas topográficas com produtos de Sensoriamento Remoto e SIG. In Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Salvador, BA, Brasil, vol. Sensoriamento Remoto, pp. 741-747. (INPE-5652-PRE/1827), INPE, São José dos Campos, SP, Brasil.

Vergara, O.R., 1999. Atualização cartográfica utilizando imagens de sensoriamento remoto orbital: desenvolvimento e teste de uma metodologia. (Tese de Doutorado). EPUSP, São Paulo, SP, Brasil, 186 páginas.

Vergara, O.R. e J.P. Cintra, 2001. Estudo comparativo da informação temática fornecida por 3 grupos de imagens orbitais para fins de atualização cartográfica. In Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre, RS, Brasil.

Viadana, M.I.C.F., 1995 Atualização de cartas topográficas utilizando imagens orbitais - Metodologia alternativa para microcomputadores. (Tese de Doutorado). EPUSP, São Paulo, SP, Brasil, 135 páginas.

AGRADECIMENTOS

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