

Técnicas Digitais para Produção de Carta Imagem

MARCOS ANTÔNIO TIMBÓ ELMIRO

Instituto de Cartografia Aeronáutica - ICA
Aeroporto Santos Dumont
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Centro Técnico Aeroespacial - CTA
Instituto de Aeronáutica e Espaço
São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract. Many aeronautical charts are made by compilation process over national systematic maps. Unfortunately the basic national cartographic coverage is not yet fully completed and therefore does not provide an effective base for the growing applications of aeronautical charting. A cost-effective alternative solution for minimizing the dependency on systematic maps can be afforded by utilizing image mapping techniques. This paper provides a brief discussion on the main steps required to produce image maps using an entirely digital approach. The guidelines for such digital procedures are under development in Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) as part of a large image mapping program for aeronautical purposes.

Introdução

Um grande número de atividades importantes para o país são apoiadas no arcabouço do mapeamento básico nacional, isto é, nas cartas sistemáticas em escalas de 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000, produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Dentre estas atividades fundamentais estão as cartas aeronáuticas, que são elaboradas por compilação a partir dos mapas sistemáticos nacionais e complementadas com informações indispensáveis para pilotagem.

As dificuldades econômicas e tecnológicas agravadas pela vasta extensão territorial e pelo acesso difícil a certas regiões, restringem a condução do mapeamento sistemático nacional a um ritmo bastante lento, resultando numa cobertura cartográfica que não fornece uma resposta satisfatória para as crescentes necessidades de cartas aeronáuticas, seja pela falta de cobertura em algumas escalas ou seja pela degradação da confiabilidade provocada por longos períodos sem atualização.

Uma alternativa viável para contornar as deficiências da cartografia sistemática é a utilização da técnica de mapeamento por carta imagem a partir de dados da plataforma Landsat. Esta técnica consiste na utilização de imagens orbitais corrigidas geometricamente, realçadas, mosaicadas e complementadas com outras informações cartográficas ou temáticas de interesse específico.

O Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) do Ministério da Aeronáutica está, atualmente, engajado

num projeto de produção de cartas imagens para aplicações aeronáuticas. Dentro do projeto, alguns esforços estão sendo empreendidos no sentido de desenvolver e utilizar métodos inteiramente digitais. Para atingir este objetivo, necessariamente, várias etapas de processamento devem ser aplicadas às imagens Landsat. Uma discussão acerca dessas diferentes fases de processamento digital para produção de carta imagem constitui a substância deste trabalho.

Pré-processamento das imagens

As imagens disponíveis em fitas CCT fornecidas pelo INPE, normalmente já possuem um certo grau de pré-processamento com relação a algumas distorções sistemáticas e quanto a correções radiométricas básicas. As operações de pré-processamento são necessárias para remover distorções, degradações e ruídos de diversas ordens que são introduzidos nos dados Landsat, ao longo de todo o processo de imageamento, provocados por variações na iluminação, nas condições atmosféricas, no ângulo solar, no ângulo de visada do sensor, na transmissão dos dados e pelos erros sistemáticos instrumentais.

O pré-processamento está fundamentado no conhecimento de parâmetros das fontes causadoras dos erros. As correções radiométricas mais usuais aplicam-se para reduzir o efeito atmosférico, corrigir linhas ou pixels degradados, ajustar as diferenças na resposta dos detectores e eliminar ruídos de alta frequência (Richards, 1986). As correções geométricas consistem na aplicação de transformações com base em dados da plataforma, conhecidos *a priori* ou transmitidos por

detectores e eliminar ruídos de alta frequência (Richards, 1986). As correções geométricas consistem na aplicação de transformações com base em dados da plataforma, conhecidos *a priori* ou transmitidos por telemetria e no conhecimento das distorções internas do sensor. São aplicadas para corrigir o desvio da varredura, variações de velocidade da espaçonave, o efeito da rotação da Terra, as variações na velocidade de varredura do espelho, a curvatura da Terra, distorções panorâmicas, mudanças na atitude do sistema sensor e variações de altitude (Bernstein, 1983).

Projeção cartográfica

As imagens de sensoriamento remoto orbital, obtidas por "scanners", são representações planas de porções da superfície elipsóidica da terra e podem ser consideradas muito próximas de projeções perspectivas unidimensionais do objeto imageado na direção da varredura (Moik, 1980). Para permitir análises eficientes e integração com outros dados geocodificados, já existentes, é fundamental que as imagens sejam referenciadas a um sistema de projeção comum.

A colocação das imagens TM num sistema de projeção pode ser realizada de duas maneiras. A primeira forma é baseada na geometria de imageamento e é, geralmente, feita em conjunto com o pré-processamento. Uma outra forma comum de transformar as imagens para um sistema de projeção desejado, é através da utilização de pontos de controle terrestres e modelos de ajuste polinomial, seguido de reamostragem. As projeções mais utilizadas para as imagens orbitais são as Projeções "Space Oblique Mercator" (SOM) e "Universal Transverse Mercator" (UTM).

A projeção SOM requer um mínimo de reamostragem de pixels, necessitando menos tempo de processamento. As imagens processadas pelo sistema, geralmente, são automaticamente referenciadas a esta projeção, caso não seja especificado outro tipo (Briant et al., 1985 e Clark, 1990). O sistema SOM consiste numa projeção pseudocilíndrica oblíqua ao eixo polar e tangente ao elipsóide terrestre. O meridiano central da projeção é a própria órbita do satélite Landsat. A amplitude do fuso é limitada pela largura da varredura. A geometria de projeção é única para cada cena. Não há deformações de escala no centro da varredura, ocorrendo ampliações máximas nos extremos da imagem. A projeção SOM produz distorções mínimas para uma imagem, considerada isoladamente (Colvocoresses, 1974, 1986 e Snyder, 1986).

A projeção adotada no Mapeamento Sistemático Brasileiro é o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM), que é também um dos mais utilizados no mundo inteiro. A projeção UTM é um caso particular da Projeção Transversa de Mercator com as características abaixo:

1) A superfície de projeção é um cilindro cujo eixo é perpendicular ao eixo polar. O cilindro é secante ao elipsóide segundo dois meridianos, ao longo dos quais não ocorrem deformações. As áreas entre os meridianos de secância sofrem reduções e as áreas fora dos meridianos de secância são ampliadas, desta forma permite-se que as distorções de escala sejam distribuídas ao longo do fuso.

2) O elipsóide terrestre é dividido em 60 fusos parciais com 6 graus de amplitude cada. O coeficiente de redução máxima ocorre ao longo do meridiano central e tem o valor constante de 0.9996. A origem do sistema cartesiano de coordenadas é formada pelo meridiano central (eixo Y) cujo valor é 500.000,00 metros, e pelo equador (eixo X) que tem valor 0,00 para coordenadas no hemisfério norte e 10.000.000,00 metros para coordenadas no hemisfério sul (visando a evitar coordenadas negativas).

Seleção de bandas

Este assunto têm sido extensivamente estudado, e vários métodos foram desenvolvidos com objetivo de chegar automaticamente a uma seleção otimizada de três bandas (Chavez et al., 1984 e Sheffield, 1984). Apesar da reconhecida utilidade dessas análises, o cartógrafo é forçado a levar em consideração outros fatores, tais como as convenções de cores cartográficas e as necessidades específicas do usuário. Assim, as bandas finais e as cores, indicadas pelos processos automáticos, no caso da carta imagem, têm sido um pouco alteradas de forma a acomodar esses fatores e atingir uma ampla faixa de usuários (Colvocoresses, 1986).

As bandas TM, para efeito de carta imagem, têm sido usualmente escolhidas com base na experiência, levando-se em consideração os principais alvos presentes nas imagens, numa base caso a caso e através de experimentação utilizando o sistema interativo de processamento de imagens. Até o momento, as combinações mais utilizadas para os canais principais têm sido as bandas 1, 2 e 3; 2, 3 e 4; 2, 3 e 5 e 3, 4 e 5.

O objetivo buscado é uma combinação que represente um compromisso entre cores de fácil interpretação, um bom contraste geral, destaque das feições de relevo e uso do solo, e um realce das feições lineares como as estradas e a drenagem. Para alcançar este propósito, além da seleção adequada das bandas,

será necessária a aplicação de vários processamentos de realce que serão discutidos mais adiante.

Correção e avaliação da precisão geométrica

Um dos pontos-chaves quando se trata de uso de imagens Landsat para fins de mapeamento é a questão da correção das distorções geométricas, visando a atingir os padrões especificados para cada escala de mapeamento. A legislação cartográfica nacional estabelece que 90% dos pontos bem definidos numa carta, não poderão ter um erro superior a 0.5 mm na escala da carta. Este é o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para as cartas classe A. Portanto, os processos de correção geométrica aplicados às imagens que se destinem a atualizar ou substituir produtos cartográficos devem atingir estas especificações.

Após o lançamento dos satélites Landsat 4 e 5 inúmeros testes foram realizados para avaliar a precisão geométrica e o potencial cartográfico das imagens do sensor TM. Em face dos vários formatos das imagens processadas por diferentes sistemas e dos diferentes critérios utilizados nas análises, resultados muito divergentes têm sido encontrados na literatura. Estudos bastante completos e confiáveis, como aqueles realizados por Welch et al. (1985), Bryant et al. (1985), Borgerson et al. (1985), como parte do "NASA Landsat Investigations Data Quality Analysis Program" (LIDQA), apontaram para uma excelente fidelidade geométrica interna das imagens corrigidas pelo sistema (Erro Médio Quadrático da ordem de subpixel). Devido à imprecisão dos dados enviados por telemetria, foram identificados deslocamentos de até 1 Km nos indicadores de latitude e longitude, em relação à verdade terrestre, nas imagens processadas sem pontos de controle (Colvocoresses, 1986). Em resumo, os estudos mostraram que a fidelidade geométrica ficou muito próxima das especificações de projeto do sistema, que estabelecem uma precisão dentro de 0.5 pixel (15 m) numa banda simples sobre 90% dos pontos e dentro de 20 pixels (600 m) para os indicadores de latitude/longitude. Concluiu-se que polinômios do primeiro grau (afim) e do segundo, com poucos pontos de controle terrestre, são adequados para ajustar uma imagem TM à verdade terrestre no sistema de projeção UTM ou outro qualquer, através de reamostragem. A reamostragem com uso de pontos de controle terrestre elimina os erros grosseiros de latitude e longitude, permite o alinhamento dos dados com relação ao norte geográfico e, teoricamente, deve melhorar a precisão interna.

Ainda como parte do LIDQA, foram comparadas imagens corrigidas, processadas por diferentes

sistemas, como os do "Canadian Centre for Remote Sensing", "European Space Agency" e "National Space Development Agency" (agência japonesa) e não foram encontradas diferenças significativas. Estes testes confirmaram que havia compatibilidade entre os dados TM processados nas diferentes estações terrestres espalhadas pelo mundo (Clark, 1990).

O modelo de correção por transformação afim (polinômio de primeiro grau) é dado por

$$X' = a_0 + a_1X + a_2Y$$

$$Y' = b_0 + b_1X + b_2Y$$

para polinômio do segundo grau tem-se

$$X' = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2$$

$$Y' = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2$$

onde X' e Y' são as posições (linha e coluna) na imagem original distorcida, X e Y são as posições correspondentes no mapa ou imagem corrigida e os a_n são os coeficientes de transformação entre os dois sistemas.

Remoção de nuvens

A presença de nuvens suprimindo informações nas faixas do visível e infravermelho têm afetado com muita frequência as imagens Landsat. Nestes casos é necessário removê-las através das seguintes abordagens:

1) A remoção de nuvens pode ocorrer simultaneamente com a operação de mosaicagem digital que será discutida mais adiante. Esta técnica pode ser vantajosamente aplicada em alguns casos favoráveis (Milgram, 1975).

2) Hord (1982) descreve um algoritmo para remoção de nuvens, baseado em imagens multitemporais, que pode ser resumido nos seguintes termos. Assumindo que A e B são imagens multitemporais da mesma área e que estejam perfeitamente registradas. Se A e B exibem considerável cobertura de nuvens, então uma nova imagem C derivada de A e B pode ser gerada. C terá uma menor cobertura de nuvens, tendo em vista a diferente distribuição das nuvens em A e B. O algoritmo em dois passos é dado por:

1. $V_c = V_a$
2. Se $V_c > T$, $V_c = V_b$

onde, V_a , V_b e V_c são valores de cinza das imagens A, B e C respectivamente. Assim, a nova imagem será constituída de pixels da imagem A que possuem um nível de cinza menor que um certo limiar T. Se o nível de cinza do pixel de A exceder o limiar T, então ele é considerado um pixel de nuvem, e o pixel da imagem B será atribuído.

3) Krug (1992) faz um estudo bastante completo do problema, estabelecendo vários métodos para estimar os valores dos pixels bloqueados por nuvens. As abordagens propostas se utilizam da substituição da área bloqueada por dados multitemporais, valendo-se de processos estatísticos para corrigir as diferenças

radiométricas que são inevitáveis em imagens de diferentes datas.

Mosaicagem digital

Na elaboração de uma carta imagem é comumente necessária a mosaicagem de imagens vizinhas. Na montagem de um mosaico digital, a partir de duas ou mais cenas com faixas de superposição, a junção entre as imagens é geralmente aparente. Frequentemente, estas bordas artificiais são mais visíveis que a informação honesta contida na imagem, e podem interferir na interpretação (Milgram, 1975). Estas bordas são resultantes das mudanças ocorridas entre as épocas de aquisição das imagens. As condições atmosféricas podem ter variado, a umidade do solo pode estar diferente, mudanças sazonais podem ter ocorrido na vegetação, problemas de calibração do sensor, etc.

Basicamente duas abordagens podem ser consideradas para a mosaicagem digital. A primeira, baseada na proposta descrita em Milgram 1975 1977, presuppõe o uso de poucas cenas e um perfeito registro entre as imagens adjacentes. Em resumo, quatro estágios são necessários na montagem de um mosaico digital utilizando esta abordagem:

1) O primeiro passo requer o perfeito registro das imagens.

2) No segundo passo, é necessário o ajuste da tonalidade de cinza de uma imagem em relação a outra, de forma que a média dos níveis de cinza nas regiões de superposição sejam semelhantes. Isto pode ser conseguido através de técnicas de casamento de histograma (Richards, 1986). Após este passo as bordas tornam-se significativamente menos visíveis, apesar de ainda serem aparentes.

3) No terceiro passo, é criada uma linha irregular para junção das imagens. Um ponto de junção é

escolhido para cada linha. A informação de cada linha no mosaico final à esquerda do ponto de junção será puxada do segmento de linha da imagem esquerda, e a imagem direita fornecerá a informação para o restante da linha do mosaico. O ponto de junção será escolhido onde o somatório das diferenças de níveis de cinza sobre uma região de w pontos é mínimo, isto é, onde o valor da função $D_{(n)}$ abaixo é mínimo.

$$D_{(n)} = \sum_{i=-(w/2)+1}^{i=w/2} |L_{(n+i)} - R_{(n+i)}|$$

onde, $L_{(j)}$ $j=1,2,\dots,K$ são os valores dos pixels da linha da imagem esquerda na região de superposição; $R_{(j)}$, $j=1,2,\dots,K$ são os valores dos pixels da linha da imagem direita na região de superposição; K é a largura da região de superposição; e w é a largura da região para cálculo do somatório das diferenças ($D_{(n)}$), que deve ser menor que K . No intuito de evitar o surgimento de bordas horizontais, um ótimo refinamento para este passo consiste em restringir o intervalo de escolha do ponto de junção de uma dada linha, dependendo da magnitude do $D_{(n)}$ mínimo da linha anterior. Se o ponto de junção anterior teve um $D_{(n)}$ mínimo elevado, é conveniente escolher o ponto de junção atual próximo do anterior. Se o $D_{(n)}$ mínimo foi pequeno, a posição do ponto de junção não é será tão crítica. Este refinamento incorpora a grande vantagem de contornar nuvens e outras feições presentes numa imagem e ausentes na outra.

4) Finalmente, o quarto passo consiste na suavização da abrupta diferença de níveis de cinza na vizinhança do ponto de junção. Isso pode ser obtido através de uma transição gradual ou efeito de rampa.

As técnicas de modelagem para registro e correção geométrica baseadas nos modelos polinomiais convencionais não obrigam o casamento de feições correspondentes na área de superposição. Isto pode causar descontinuidades da ordem de até dois pixels, nas imagens TM ao longo da junção, na operação de mosaicagem (Thormodsgard e Lillesand, 1987). Dai decorre a necessidade de uma segunda abordagem para mosaicagem digital.

O JPL desenvolveu um eficiente sistema para produção de mosaicos denominado "Large Area Mosaicking System" (LAMS) que reduz sensivelmente as descontinuidades nas junções das imagens, utilizando um modelo de distorções composto, que compensa os erros da plataforma, rotaciona os eixos para o norte, estabelece um sistema de projeção e elimina os erros grosseiros de posicionamento geográfico.

O Sistema é relativamente complexo, porém, em resumo, quatro conceitos básicos podem ser identificados. O primeiro conceito envolve o uso de polígonos cuidadosamente definidos dentro da fronteira de cada imagem. Estes polígonos definem a localização das junções do mosaico, determinam onde uma rotina de correlação automática será aplicada para produzir pontos de controle de junção (dos quais se conhece as coordenadas de linha e coluna nas imagens adjacentes), e limitam o processamento ao pedaço da cena incluída no espaço do mosaico. O segundo conceito envolve o ajustamento dos pontos de controle de junção aos pontos de controle terrestre. O terceiro conceito envolve o uso de um modelo de distorção geométrica que corrige as distorções de mais baixa frequência espacial representada nos pontos de controle terrestre, bem como as distorções de mais alta frequência espacial representada pelos pontos de controle de junção. O quarto conceito envolve a obtenção de informação para correção de brilho, visando a ajustar as diferenças de tonalidade entre as imagens adjacentes. Uma descrição completa do método pode ser obtida em Zobrist et al. (1983).

Realce radiométrico

Concluída a etapa da montagem do mosaico digital, a parte de interesse pode ser destacada para reduzir necessidades de memória. Sobre esta parte devem ser aplicados vários processamentos para enriquecer a qualidade visual e cartográfica da imagem. Os procedimentos básicos incluem:

- 1) Aplicação de um cuidadoso realce de contraste em cada componente. Bons resultados podem ser obtidos através de transformações lineares multilíneas e não-lineares de contraste, para esticar ou comprimir dados (Moik, 1980 e Richards, 1986).
- 2) Utilização de técnicas de filtragem passa alta para realce de bordas. Uma técnica útil para realce isotrópico de bordas pode ser alcançada através de processamentos com base no operador Laplaciano (Hord, 1982 e Moik, 1980).
- 3) Técnicas de limiarização para permitir filtragem seletiva. Estas técnicas são importantes para feições de alto contraste, não há razão para aplicar o mesmo filtro, mesmo realce de contraste ou, até mesmo, as mesmas bandas para feições muito diferentes, e a limiarização provê uma forma automática para mascarar as modificações necessárias (Colvocoresses, 1986 e Schowengerdt, 1983).

Realces especiais

Dependendo das feições presentes, de sua distribuição na imagem e da concepção cartográfica específica,

técnicas adicionais de processamento poderão ser necessárias para aumentar a separabilidade entre alguns alvos específicos e facilitar a interpretação. Se forem escolhidos, por exemplo, os canais 1, 2 e 3, com o objetivo de criar uma composição com cores naturais, haverá dificuldades em distinguir massas d'água de florestas, bem como diferentes tipos de vegetação. Neste caso, utilizam-se adicionalmente bandas do infravermelho onde a separação entre estes alvos é mais evidente, e assim será possível atribuir-lhes cores cuidadosamente escolhidas, de forma que seja aumentada a separabilidade. Cinco fases são necessárias para atingir este objetivo (Kahler e Milkus, 1986).

- 1) Separação: Basicamente, duas diferentes técnicas podem ser utilizadas para separar alvos em imagens. A primeira, é através da simples limiarização em dois níveis. Por exemplo, 0 para água e 255 para as demais feições. No segundo caso, utilizam-se diferentes bandas espectrais do visível e infravermelho e áreas de treinamento para as classes de interesse. Neste caso, qualquer algoritmo de classificação poderá ser utilizado (máxima verossimilhança, mínima distância, etc). A técnica de classificação demanda mais tempo, porém, produz melhores resultados na separação das áreas de interesse.
- 2) Revisão interativa: Qualquer algoritmo de separação sempre produz erros, que podem ser corrigidos com um controle interativo e visual. Utilizando o sistema de processamento digital de imagens, o operador pode comparar o resultado da separação para identificar e corrigir pixels visivelmente mal classificados.
- 3) Mascaramento: Uma área correspondente a uma classe de objetos (água, floresta, etc) preenchida com nível de cinza de valor constante é utilizada como máscara para atribuir valor zero a todos os pixels homólogos nos canais principais.
- 4) Atribuição de cor: A mesma classe de objetos, utilizada anteriormente como máscara, é necessária aqui para preencher todos os pixels de sua área nos canais principais com o nível de cinza adequado. A combinação de diferentes níveis de cinza nos três canais, azul, verde e vermelho, poderá produzir qualquer cor desejada para aquela região.
- 5) Substituição: A máscara de uma classe separada também pode ser usada para copiar a área de classe de objetos de uma banda espectral para outra, ou para somar os valores de níveis de cinza de uma banda em outra. Por exemplo, os valores dos pixels de florestas bem diferenciadas numa banda do infravermelho podem ser adicionados a banda 2 (verde) criando regiões de florestas diferenciadas numa carta imagem de cores naturais.

Diferentes variações destas técnicas para outras combinações de canais podem ser utilizadas (Lillesand e Lo, 1985). Outros procedimentos para realce de detalhes localizados, funcionam a base de experimentação e dependem de um certo grau de subjetividade.

Materiais e procedimentos

Os materiais indispensáveis a serem utilizados no projeto a ser conduzido pelo ICA para geração de carta imagem podem ser resumidos pelos seguintes itens: 1) imagens digitais do sensor TM-Landsat-5, 2) estações gráficas dotadas de sistema interativo de processamento de imagens, 3) receptores do sistema GPS para medição de pontos de controle terrestre, 4) fotoplóter com resolução de até 2000 pontos por polegada e capacidade de reticulação para produção dos fotolitos.

Os procedimentos para produção de cartas imagens baseadas em processos digitais podem ser visualizados no diagrama de blocos da Figura 1 que passam a ser descritos nos tópicos a seguir.

Planejamento da folha - Consiste basicamente na delimitação, em coordenadas geográficas, da área a ser mapeada, da definição da escala de mapeamento, e da escolha do sistema de projeção adotado.

Seleção das imagens - Serão escolhidas as imagens que cubram a área geográfica definida no item anterior, obtidas nas datas mais recentes, que possuam a menor incidência possível de nuvens, e no caso de imagens vizinhas, que tenham sido obtidas na mesma estação do ano.

Pré-processamento digital das imagens - Esta fase é atribuição do Departamento de Geração de Imagens (DGI) do INPE em Cachoeira Paulista.

Seleção de bandas - A seleção das bandas principais, conforme enfatizado na seção 2.4, tem sido definida com base na experiência, e depende de testes empíricos. Portanto, pretende-se realizar uma série de avaliações através do sistema interativo para descobrir a melhor combinação, levando em consideração que o produto final será litografado em papel.

Extração de dados - Para reduzir recursos de memória serão extraídas das imagens, somente as partes necessárias para cobrir completamente a área a ser mapeada.

Correção geométrica das imagens - Conforme discutido anteriormente, as imagens TM corrigidas pelo sistema possuem excelente precisão interna, entretanto será necessário fazer a reamostragem das imagens utilizando uma transformação afim, para eliminar os erros grosseiros de posicionamento, orientar os eixos com relação ao norte e estabelecer o sistema de projeção UTM. Será utilizado um mínimo de quatro pontos de

controle para cálculo dos coeficientes, e igual número para avaliação da adequação da transformação. A interpolação dos pixels será obtida por convolução cúbica. A medição dos pontos de controle terrestres será feita por receptores GPS e as coordenadas linha/coluna de seus correspondentes na imagem serão obtidas através do cursor com a imagem ampliada 4 vezes. Serão rejeitados, passo a passo os pontos que apresentarem resíduos grosseiros, até que se atinja um PEC compatível com os mapas nacionais.

Montagem do mosaico - Se a área mapeada for superior à área coberta por uma órbita-ponto do satélite Landsat, será necessária a combinação de imagens sob a forma de mosaico digital. A mosaicagem conta com a alta precisão interna das imagens TM e será baseada na abordagem proposta por Milgran (1975). Serão feitas várias avaliações interativas para aperfeiçoar o casamento de histogramas, achar a melhor linha de junção e atingir uma perfeita suavização das diferenças de tonalidades.

Avaliação da precisão do mosaico - A finalidade deste passo é verificar se o mosaico preserva a precisão geométrica das imagens individuais e atinge o PEC dos mapas nacionais. Os testes serão feitos pela avaliação dos coeficientes e resíduos de transformações de similaridade, com pontos distribuídos ao longo do mosaico.

Remoção de nuvens - As nuvens espessas serão removidas através da substituição de dados multitemporais, com base no algoritmo proposto por Hord (1982) e aperfeiçoado por Krug (1992), vistos anteriormente.

Realce radiométrico - Utilizando o sistema interativo, serão testadas várias transformações lineares, multilineares e não-lineares de contraste em cada componente, com o objetivo de atingir um balanço adequado e uma faixa de tons de cinza compatível com a densidade do filme. Serão avaliadas algumas técnicas de filtragem passa-alta para realce de bordas com objetivo de melhorar a aparência da imagem. Se necessário, serão utilizadas técnicas de limiarização para permitir filtragem seletiva.

Realces especiais - Havendo feições específicas que devam ser realçadas para facilitar a interpretação ou melhorar a estética, os procedimentos de realces especiais discutidos anteriormente serão utilizados.

Corte preciso do limite útil - As bordas do mapa na projeção UTM são coincidentes com as transformadas dos paralelos (superior e inferior) e meridianos (direito e esquerdo) sendo, portanto, linhas curvas. Assim, os pixels das bordas serão calculados pela lei da projeção e a todos os pixels fora da área de interesse será atribuído valor zero.

Separação de cores - As três bandas espectrais do mosaico digitalmente armazenadas, cobrindo toda a área do mapa serão transformadas num reticulado digital de densidades proporcionais aos níveis de cinza. Com o auxílio de um fotoplóter a laser, cada uma das bandas reticuladas poderá ser gravada em filme fotográfico, resultando 3 fotolitos que serão copiados diretamente nas chapas litográficas e associados a três cores primárias. As chapas litográficas permitem a reprodução dos mapas em larga escala, barateando consideravelmente o custo por unidade.

Projeto de lay-out da carta - Esta fase consiste no planejamento e definição de uma folha modelo com as informações marginais e os elementos cartográficos que deverão ser sobrepostos ao mosaico para apresentação final.

Sobreposição de textos, "grid" e símbolos gráficos - A moldura, a rede de paralelos e meridianos, o grid do sistema de projeção, informações marginais, símbolos, curvas de níveis, sinais gráficos, nomenclatura de estradas, rios, cidades etc, definidos no projeto de lay-out da carta serão produzidos digitalmente num arquivo vetorial e gravados em filme no fotoplóter, formando o quarto fotolito que será associado à cor preta.

Preparo das chapas de impressão - Esta fase será atribuição de uma gráfica especializada, e considerações mais detalhadas sobre o assunto fogem ao escopo deste trabalho.

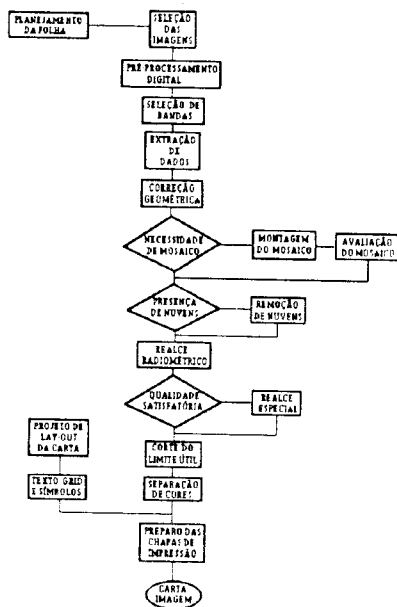


Fig. 1 - Diagrama de blocos das etapas do método proposto para construção de carta imagem.

Referências bibliográficas

- Bernstein, R. Image geometry and rectification. In: Colwell, R.N. **The manual of remote sensing**. 2 ed. Falls Church, VA, 1983. v. 1, cap. 21, p. 875-881.
- Borgerson, W.T.; Batson, R.M.; Kieffer H.H. Geometric accuracy of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 51(12):1893-1898, Dec. 1985.
- Bryant, N.A; Zobrist, A.L; Walker, R.E.; Gokhman, B. An analysis of Landsat Thematic Mapper P-Product internal geometry and conformity to earth surface geometry. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 51(9):1435-1447, Sep. 1985.
- Chavez, P.S.; Guptill, S.C.; Howell, J.A. Image processing techniques for Thematic Mapper data. In: ASPRS-ACMS Annual Meeting. Washington, DC, Mar. 11-16, 1984. **Proceedings**. Falls Church, VA, ASPRS, 1984, v. 2, p. 757-769.
- Colvocoresses, A.P. Space oblique Mercator. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 40(8):921-926, Aug. 1974.
- Colvocoresses, A.P. Image mapping With the Thematic Mapper. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 52(9):1499-1505, Sep. 1986.
- Clark, B.P. Landsat Thematic Mapper data production: a history of bulk image processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 56(4):447-451, 1990.
- Hord, R.M. **Digital image processing of remotely sensed data**. New York, N.Y., Academic, 1982. 256 p.
- Jensen, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1986. 379 p.
- Kahler M.; Milkus, I. Berlin from space - a digitally produced satellite image map. In: ISPRS and Remote Sensing Society. **Mapping from modern imagery**. England, Whitstable Litho, 1986. v. 26, part 4, p. 85-92. Proceedings of a symposium held by Commission IV of ISPRS and the Remote Sensing Society in Edinburg, Scotland.

- Krug, T. **Statistical approaches to the estimation of missing values arising in remotely sensed data.** (Thesis) - University of Sheffield, England, Feb 1992. 350 p.
- Lillesand, T.M.; Lo T.H.C. The Wisconsin experimental program for satellite image mapping using Thematic Mapper data. In: ASPRS-ACMS Fall Convention. Indianapolis, Sep 8-Oct 13, 1985. **Proceedings.** Falls Church, VA, ASPRS, 1985, p. 757-769.
- Milgram, D.L. Computer methods for creating photomosaics. **IEEE Transactions on Computers**, 24(11):1113-1119, Nov. 1975.
- Milgram, D.L. Adaptive techniques for photomosaicking. **IEEE Transactions on Computers**, 26(11):1175-1180, Nov. 1977.
- Moik, J.G. **Digital processing of remotely sensed images.** Washington, DC, U.S. Government Printing Office, 1980. 330 p. (NASA SP-431).
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** Berlin, Springer-Verlag, 1986. 281 p.
- Schowengerdt, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing.** Orlando, Florida, Academic, 1983. 249 p.
- Sheffield, C. Selecting band combinations from multispectral data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 51(6):681-687, June 1984.
- Snyder, J.P. Forum: Comparison of map projections for Landsat image maps. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 52(3):379-380, March 1986.
- Thormodsgard, J.M.; Lillesand, T. Comparison of the gridded finite element and the polynomial interpolations for geometric rectification and mosaicking of Landsat data. In: ASPRS-ACSM Annual Convention. Baltimore, MD, Mar. 29-Apr 3, 1987. **Proceedings.** Falls Church, VA, ASPRS-ACSM, 1987, v. 2, p. 139-151.
- Welch, R.; Jordan, T.R.; Ehlers, M. Comparative evaluations of geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 51(9):1249-1262, Sep. 1985.
- Zobrist, A.L.; Bryant, N.A.; McLeod, R.G. Technology for large digital mosaics of Landsat data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 49(9):1325-1335, Sep. 1983.