

# **A Experiência de Atualização de Carta Topográfica 1:50.000 através de Imagens SPOT - Folha Rio Claro (SP)**

**Maria Isabel Castreghini de Freitas Viadana**

UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

IGCE - Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica

Caixa Postal 178, 13506-900 - Rio Claro, SP, Brasil

miviadan@caviar.igce.unesp.br

## **Abstract**

The objective of this paper is updating topographic map using orbital images SPOT. The area of study is Folha Rio Claro (SP), scale 1:50.000, produced by IBGE. The methodology used corresponds to apply Digital Image Enhancement through HIS transformation and techniques of visual interpretation using modules from Idrisi for Windows. The results were good in geometric precision and in information content for the scale adopted, highlighting this alternative to update topographic maps with low cost and methodology relatively simplified.

## **Keywords:**

Updating methodology; SPOT image; HIS Transformation

## **1. Introdução**

Os mapas podem ser considerados como as mais rápidas fontes de informação e as primeiras fontes a serem consultadas, quando se pretende conhecer, estudar ou desenvolver projetos numa dada região. O usuário, ao consultar um mapa, mantém a expectativa de que a informação procurada será encontrada. No entanto, esta informação pode não aparecer em função da escala ou da falta de atualização do mapa que está sendo consultado. De acordo com Keates (1982) "*... os mapas devem ser considerados em termos de escala e conteúdo e seus usos dependem de julgamento. Todos os mapas são seletivos*". Partindo-se deste princípio, torna-se de fundamental importância a adequação da escala e do conteúdo ao objetivo almejado.

As questões de escala e conteúdo são fundamentais para qualquer trabalho que utilize cartas para sua execução. No Brasil, observa-se que as cartas disponíveis aos usuários encontram-se, na maioria das vezes, em escalas insatisfatórias e com um agravante, desatualizadas.

Diversas são as metodologias desenvolvidas para a atualização de cartas sendo que, nos anos recentes, a utilização de imagens orbitais tem tido destaque nos trabalhos que tratam desta temática. Quando se visa a atualização de cartas, devem ser consideradas e ponderadas questões como as dimensões da área a ser atualizada, recursos disponíveis para a realização do trabalho, a rapidez e a praticidade da metodologia a ser empregada. Além disso, um fator que influencia decisivamente a qualidade da atualização é a capacidade de detecção das alterações ocorridas

com o tempo. Esta capacidade está diretamente vinculada ao conteúdo informativo atualizado da imagem e a sua qualidade geométrica, quer sejam fotografias aéreas convencionais ou imagens orbitais.

### **1.1. Objetivo do Trabalho**

O objetivo principal deste trabalho é realizar a atualização das feições planimétricas da Carta Topográfica IBGE, Folha Rio Claro (SP), na escala 1:50.000, através da utilização de imagens orbitais e do Sistema de Informação Geográfica Idrisi for Windows. Dentre as feições cujo conhecimento das características espectrais são importantes para o desenvolvimento deste trabalho destacam-se as feições urbanas/suburbanas, rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, água, vegetação e solo. Devido à impossibilidade do uso da estereoscopia na análise das imagens orbitais SPOT através do programa Idrisi for Windows, não faz parte deste trabalho a atualização das feições altimétricas como curvas de nível e pontos cotados.

### **1.2. Área de Estudo**

Escolheu-se para a realização deste trabalho a carta topográfica do IBGE, folha SF-23-M-I-4, denominada Rio Claro, escala 1:50.000. Trata-se de uma carta produzida na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23 do Esferóide Internacional, Datum horizontal Córrego Alegre(MG) e Datum vertical marégrafo de Imbituba(SC). A área de estudo, que é parte desta carta, localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: latitudes 22°15'S e 22°30'S e longitudes 47°45'W e 47°30'W. A área mapeada corresponde a um retângulo de aproximadamente 25.500m x 27.500m. A escolha deste local para a realização do trabalho deve-se à grande desatualização da carta citada, datada de 1969 (primeira edição) e apresentando informações relativas ao levantamento aerofotogramétrico de 1965, o que equivale a 30 anos de desatualização.

## **2. Revisão da Literatura**

As formas de produção e de atualização de mapas evoluíram muito acompanhando o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas. No final dos anos 60 começaram a surgir simultaneamente novas tecnologias e novas fontes de dados: o mapeamento digital, o sensoriamento remoto orbital, o tratamento digital de imagens, os sistemas de informação geográfica (SIG) e, mais recentemente, os sistemas de posicionamento global (GPS e outros). Os SIG's, por possibilitarem a manipulação de dados gráficos, como os contidos em cartas topográficas e temáticas, bem como dados alfanuméricos, contidos em bancos de dados, apresentam-se como importantes ferramentas integradoras, com possibilidade de armazenamento das informações em meio digital e apresentação dos resultados na forma gráfica, tabular e na forma de texto.

Em termos nacionais a situação do mapeamento sistemático pode ser vista na Tabela 1, adaptada de BRASIL (1991).

Tabela 1. Situação do mapeamento no Brasil

MAPEAMENTO SISTEMÁTICO	% mapeada	% a mapear	nº de mapas previstos
1:25.000	1,6	98,4	47.712
1:50.000	13,1	86,9	11.928
1:100.000	65,9	34,1	3.049
1:250.000	66,2	33,8	556
1:500.000	42,8	57,2	159
1:1.000.000	100	0	46

Fonte: Adaptado de BRASIL (1991).

A Tabela 1 mostra as deficiências na produção cartográfica nacional. Na consulta às cartas existentes, observa-se que as cartas em escala média (1:50.000), de grande importância para atividades de planejamento, estão desatualizadas em mais de 30 anos. Estes fatos ressaltam a importância do desenvolvimento de metodologias alternativas para a produção e atualização cartográficas apoiadas em imagens. Com a crescente popularização da informática, os profissionais vão tendo acesso a novas informações, novos equipamentos, novos programas e portanto melhores condições de produzir. Neste sentido a popularização é saudável, bem-vinda e deve ser estimulada. O lado negativo desta questão fica por conta da confiança exagerada por parte de profissionais que produzem e publicam cartas e mapas dotados, na maioria das vezes, de uma apresentação atraente e sofisticada mas sem preocupação com as normas cartográficas relativas à qualidade e à exatidão (Viadana, 1995).

Por outro lado, pode ser considerada problemática a grande velocidade com que os sistemas se desatualizam e a excessiva preocupação com equipamentos e programas de ponta enquanto as questões elementares da cartografia são deixadas de lado. Neste sentido torna-se urgente a tomada de consciência por parte da comunidade cartográfica, dos profissionais usuários e principalmente dos indivíduos que decidem os rumos da cartografia brasileira (Cintra, 1991).

## 2.1. Realce de Imagens

Algumas técnicas de realce de imagens estão disponíveis para ajudar o homem na extração e interpretação de informações na forma de imagens. O realce é conseguido através da articulação de feições ou padrões de interesse na imagem e por uma exibição adaptada às propriedades do sistema visual humano. Em função deste sistema discriminar muito mais cores do que níveis de cinza, uma exibição colorida pode representar mais informações detalhadas que uma exibição em tons de cinza (Moik, 1980).

A seguir apresenta-se a classificação apresentada por Moik (1980) para os métodos de realce de imagens:

- a) aumento de contraste ( modificação na escala de cinza);
- b) realce de borda;
- c) realce de cor (pseudo-cor ou falsa-cor);
- d) realce de múltiplas imagens.

Tem interesse especial neste artigo a transformação no espaço das cores ou transformação IHS, que muitas vezes é utilizada como etapa intermediária nas operações de realce de imagens. No intuito de ilustrar sua utilização, pode se dar como exemplo a exibição de uma imagem no visível com alta resolução, como o *componente intensidade* e uma imagem com banda termal, de baixa resolução, como o *componente matiz* (Haydn, 1982 apud Schowengerdt, 1983). Nestes casos a imagem resultante no espaço RGB (R'G'B') contém a estrutura detalhada da cena expressa como intensidade, com a estrutura termal superimposta como variações da cor pura.

## **2.2. Metodologias de Atualização Cartográfica em Meio Digital**

A utilização de técnicas de fusão de imagens envolvendo sensores de diferentes resoluções espaciais e espectrais tem aumentado os recursos de interpretação destas imagens. O trabalho de Sanchez (1987) apresenta um estudo utilizando imagens híbridas dos sensores SPOT e Landsat foi realizado para o mapeamento na escala 1:50.000 da área de Viedma (Argentina). O autor usou diferentes bandas da imagem Landsat TM (resolução espacial de 30 m) e a banda pancromática do sensor SPOT-HRV (resolução espacial de 10 m) as quais foram submetidas a um registro geométrico. Neste registro foram selecionados 20 pontos de controle para as bandas TM e 28 pontos de controle para a SPOT pancromática. Esta etapa foi seguida de fusão de imagens através da transformação IHS, utilizando-se as bandas TM-432 e TM-543. Obtidos os valores no espaço IHS substituiu-se o componente intensidade pela banda SPOT pancromática, com maior resolução. Através da transformação inversa obteve-se a imagem híbrida colorida. O autor selecionou a imagem híbrida resultante da composição TM 4, 3 e 2 + SPOT-P. Segundo o autor, tal trabalho corresponde aos resultados parciais de um mapeamento básico para atividades de planejamento e estudos de engenharia na área de Viedma na Argentina.

O trabalho "Exatidão cartográfica e conteúdo informativo de imagens de satélite na compilação e revisão mapas digitais" (Meneguette, 1988) envolve fotografias e imagens obtidas dos sensores de varredura, cada qual exigindo tratamento distinto em função de suas peculiaridades. A avaliação das imagens digitais deu-se através do desenvolvimento de um programa específico para esta tarefa, aplicado a um sistema de processamento de imagens digitais e constitui-se num "monocomparador plotter digital". O "monocomparador plotter digital" é um novo instrumento fotogramétrico que substitui os dispositivos de fotogrametria convencional por memórias digitais, sendo as imagens mostradas num monitor colorido de alta resolução e o ponto flutuante representado por um cursor em tela. A autora considera que o principal objetivo do desenvolvimento deste sistema é atender às necessidades de países em desenvolvimento, que requerem dados atualizados e onde as questões de exatidão geométrica, nos padrões Europeus e Americanos, têm menor importância do que existência de informações atualizadas.

Em trabalho anterior, Meneguette (1987) afirma que, se aplicada a transformação afim a 4 pontos de controle, imagens Landsat podem ser restituídas com EMQ variando de 1/3 a 1 pixel,

ou 10 a 30 m para as TM e de 26 a 80 m para as MSS. Comentando os resultados obtidos pela autora, deve-se salientar que esses valores de EMQ só são possíveis se as imagens Landsat tiverem correção de sistema.

Os mapas utilizados correspondem as regiões de Marselha (sudeste da França) nas escalas 1:25.000, 1:100.000, 1:200.000 e 1:250.000; de Zawiyat al Mahjub (oeste da Líbia) na escala 1:50.000 e do Estado de São Paulo nas escalas 1:50.000 e 1:100.000. Através da aplicação desta metodologia novos mapas foram gerados nas escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:200.000, digitalizados e revisados sendo arquivados na forma digital e desenhados através de traçadores gráficos. Além disso, mapas-imagem foram gerados na tela de um monitor colorido. Tais mapas deverão ser utilizados na revisão de mapas em fase posterior, quando da atualização através de novas imagens, por métodos computadorizados. A autora salienta a importância da localização e do número de pontos de controle para a obtenção de melhores resultados. Os mapas, na maioria dos casos, encontram-se dentro dos valores previamente estabelecidos para precisão cartográfica. Os mapas-imagem apresentam exatidão de 7,2 a 11,7 m para imagens TM. Tais valores seriam suficientes para padrões de mapeamento nas escalas 1:25.000 e 1:50.000. Com relação ao conteúdo informativo dos mapas atualizados foram realizadas avaliações qualitativas e quantitativas. Os testes quantitativos envolveram amostras de feições encontradas em todas as escalas, as quais tiveram suas extensões comparadas através da análise dos novos mapas gerados e dos mapas existentes para cada uma das áreas de estudo. Diferentes métodos foram aplicados para comparar os mapas digitais. Um deles utilizava diferentes combinações de cores na apresentação em tela das feições antigas e novas. Assim, quando uma mesma feição aparecia nos dois conjuntos de dados, acontecia uma mudança de cor da feição, o que facilitava sua identificação. Um outro método aplicado envolveu a obtenção da imagem cartográfica correspondente ao mapa existente digitalizado na forma vetorial, através do "monocomparador plotter digital". Os resultados obtidos da análise do conteúdo informativo apresentaram-se na forma de tabelas comparativas contendo o comprimento das feições em km e o conteúdo informativo dos mapas antigos e novos (em %). Dentre as composições coloridas que apresentaram os melhores resultados estão as TM-743 e TM-432. Exemplificando os resultados obtidos, nos testes realizados com imagens do Brasil observou-se que, embora os valores de acuracidade geométrica fossem excelentes, os resultados quantitativos de conteúdo informativo indicaram que as imagens não poderiam ser adotadas para mapeamento nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 em função da não identificação, ou identificação parcial, de feições consideradas importantes para mapeamento e revisão de mapas topográficos. A autora observa que os testes levaram à conclusão que, embora as acuracidades geométrica e cartográfica estejam dentro dos padrões exigidos, o conteúdo informativo é fator limitante e dominante na utilização de imagens e fotografias orbitais para fins de mapeamento e revisão de cartas.

### **3. Material**

As imagens utilizadas foram:

a) imagens SPOT - HRV - 1 banda pancromática (P) e 3 bandas multiespectrais (XS), nível 1B, no formato digital, localização K714 /J394/7, datada de 21/08/1995;

b) uma imagem Landsat - TM - 6 bandas espectrais (excluída a banda 6 - termal) , no formato digital (fita streamer - BSQ - G:2, PL:4, R:1), Órbita 220 / Ponto 75D+02, datada de 05/07/95;

c) cópias das imagens orbitais em papel;

d) fotografias aéreas na escala 1:25.000, de 07/95, da Prefeitura Municipal de Rio Claro-SP.

As cartas topográficas utilizadas foram:

a) uma carta topográfica - IBGE, Folha Rio Claro, 1969, escala 1:50.000, projeção UTM;

b) nove cartas topográficas - IGC, 1978, escala 1:10.000, projeção UTM.

Dentre os equipamentos utilizados destacam-se:

a) um microcomputador Pentium - 133MHZ-100Mb com monitor SVGA;

b) scanner Summagraphics HI LDS 5000;

c) plotter SummaJet 2 - A0;

d) impressora HP DeskJet 670C.

Os programas computacionais utilizados neste trabalho foram:

a) AUTOCAD R.12 - CAD utilizado para geração do arquivo digital correspondente à carta topográfica 1:50.000 e para a edição final das atualizações;

b) Tracer for AutoCAD - v 2.01 DOS - Hitachi Software - programa de vetorização de arquivos raster;

b) Idrisi for Windows - Sistema de Informação Geográfica que opera no modo matricial (*raster*) com a possibilidade de entrada de dados vetoriais.

#### **4. Métodos**

A metodologia aplicada neste trabalho envolveu a geração de um arquivo digital da carta topográfica em estudo, seguido do processamento e da escolha da melhor imagem para a atualização de feições referentes às redes viária, ferroviária, de transmissão de energia e área urbana. Uma vez definida a imagem mais adequada, realizou-se a atualização propriamente dita, seguida da verificação de campo e da produção da carta topográfica atualizada.

##### **4.1. Entrada de dados - Carta Topográfica**

Realizou-se a entrada de dados da carta topográfica através do scanner Summagraphics, gerando-se um arquivo com extensão TIF a ser exportado para o programa Tracer for AutoCAD.

O programa Tracer for AutoCAD é uma ferramenta poderosa para armazenamento em meio digital de fotografias, imagens e desenhos existentes em papel, com possibilidade de gerenciamento no ambiente AutoCAD. A operação do programa Tracer for AutoCAD exigiu um treinamento envolvendo suas principais funções e a utilização do modo semi-automático.

Inicialmente realizou-se conversão do arquivo que continha a imagem, no formato TIF para o formato HRF, do Tracer. Procedeu-se então ao ajustamento da imagem com respeito a escala e aos pontos de referência, seguido da definição dos parâmetros a serem utilizados na vetorização semi-automática. Dos comandos relativos ao ajustamento do desenho raster, utilizou-se a função

que elimina ruídos raster numa área especificada. Desta forma foi possível eliminar parte das hachuras relativas à vegetação que tanto atrapalham o processo de vetorização de feições lineares. A etapa mais importante da vetorização corresponde à definição dos parâmetros do Tracer para a Vetorização Semi-Automática.

Fazendo uma comparação com o processo de digitalização convencional, através de mesa digitalizadora, utilizado em Viadana (1995), pode-se observar que a apresentação da carta topográfica original, com cores e hachuras combinadas para ilustrar informações relativas à vegetação, causou muito ruído na imagem obtida do scanner. A presença de grande quantidade de curvas de nível também dificultou o traçado das feições de interesse. Deve-se salientar que o scanner utilizado foi um modelo pancromático (imagens geradas em preto e branco), ou seja, as hachuras, feições lineares planimétricas e altimétricas, bem como a toponímia apresentaram-se em um único tom. Utilizou-se o recurso de filtragem de ruídos até o limite que não compromettesse as feições estudadas. Mesmo com este procedimento, muitas das feições de interesse conectavam-se com feições que deveriam ser desprezadas, o que tornou a tarefa de vetorização semi-automática bastante árdua.

Após a vetorização e edição, realizou-se a geração de arquivos no formato DXF para a posterior exportação para o Idrisi for Windows.

#### **4.2. Entrada de Dados - Imagens Orbitais**

As imagens orbitais SPOT e Landsat foram recortadas de suas cenas originais através dos programas DI-VIEW e SITIM respectivamente. No Idrisi aplicou-se o realce linear de contraste nas imagens SPOT-P, SPOT-XS para a seleção dos pontos de controle a serem utilizados no registro das imagens.

Posteriormente realizou-se o registro imagem - mapa, que consiste em referenciar a base de dados a um sistema de projeção plana (por exemplo UTM) ou geográfica (latitude, longitude). Trata-se de uma operação de fundamental importância quando se pretende trabalhar com dados espaciais em um SIG. A função do IDRISI que permite geo-referenciar os dados cartográficos digitais ou uma imagem no formato digital denomina-se RESAMPLE. Buscando um aumento na qualidade do geo-referenciamento foram coletadas **coordenadas de terreno** das cartas topográficas IGC na escala 1:10.000 de 1978, para a área de estudo. As **coordenadas de imagem** foram obtidas através do *mouse*, em tela, diretamente das imagens orbitais ou da carta em meio digital. Os pontos de controle escolhidos encontravam-se relativamente bem distribuídos pela imagem, adotando-se para a transformação um polinômio do 1<sup>o</sup> grau.

#### **4.3. Realce e Escolha das Melhores Imagens**

O procedimento adotado para a seleção da melhor composição colorida para realizar a atualização levou em consideração as imagens orbitais selecionadas em Viadana (1995) que corresponderam as bandas RGB: TM-321, TM-432, TM-543, TM-743, TM-435 e TM-437. Além destas composições, foi testada a composição SPOT XS-321. A análise visual das composições apresentadas anteriormente possibilitou a seleção da SPOT XS-321 para a aplicação da transformação para o espaço IHS. Esta composição apresentou um maior contraste entre as

feições de interesse para este trabalho de atualização além da maior resolução espacial quando comparada com as composições TM.

A técnica de fusão de imagens produzidas por diferentes sensores visa gerar uma imagem de melhor resolução espacial, associada a uma maior resolução espectral. A transformação IHS foi a técnica escolhida para realizar a fusão das imagens orbitais em estudo tomando-se por referência os trabalhos de Sanchez (1987), Pinto (1991) e Chavez (1991). Antes de aplicar a transformação no espaço das cores fez-se necessária a uniformização das dimensões das imagens envolvidas na transformação IHS. A transformação do espaço RGB para o espaço IHS foi aplicada através da função COLSPACE, na qual as imagens de entrada foram: banda SPOT-XS 1 na cor Azul (B), banda SPOT-XS 2 na cor Verde (G) e banda SPOT-XS 3 no vermelho (R). A transformação no espaço das cores, ou transformação IHS, possibilitou o surgimento de três novas bandas correspondentes às componentes I, H e S respectivamente. Após a obtenção das componentes intensidade (I), Matiz (H) e saturação (S), realizou-se a transformação inversa do espaço IHS para o espaço original RGB substituindo a componente I (Intensidade) pela banda SPOT-P, resultando portanto numa composição colorida com resolução espectral correspondente às 3 bandas SPOT-XS e com resolução espacial equivalente a SPOT-P, de 10 metros.

#### **4.4. Digitalização em Tela e Edição da Minuta de Atualização**

Realizou-se a digitalização das feições de interesse através do módulo de digitalização que consta da função DISPLAY do Idrisi for Windows. Através da visualização simultânea da imagem em estudo e das feições da carta topográfica original procedeu-se à eliminação das feições antigas não identificadas quando da atualização. A verificação final da existência ou não destas feições só aconteceu com o trabalho de campo

#### **4.5. Verificação Preliminar da Minuta de Atualização**

A verificação preliminar da Minuta de Atualização fazendo uso das fotografias aéreas produzidas pela Empresa Base Aereofotogrametria e Projetos para a Prefeitura Municipal de Rio Claro (SP), escala 1:25.000, datadas de 1995, foi uma alternativa encontrada para diminuir e otimizar a tarefa posterior de verificação de campo. O procedimento adotado para a verificação preliminar envolveu a ampliação da minuta de atualização (originalmente na escala 1:50.000) para a escala 1:25.000 e posterior fotocópia em material transparente (acetato), de forma que esta pudesse ser superposta às fotografias aéreas de mesma escala. Procedeu-se desta forma a verificação das feições antigas e atualizadas e as alterações ocorridas e registradas nas fotos de 1995.

#### **4.6. Verificação de Campo**

A verificação preliminar descrita no item anterior facilitou em muito o trabalho de campo, pois uma porção significativa das feições que geravam dúvidas tiveram uma solução preliminar, sem necessidade de verificação de campo. Foram realizados sete trabalhos de campo em dias diferentes. Realizou-se a verificação das feições que apresentaram interpretação conflitante entre as fotografias aéreas e a minuta de atualização bem como a confirmação de feições coincidentes em ambas as fontes.



#### 4.7. Interpretação Final

O objetivo desta fase do trabalho foi o de complementar a interpretação inicialmente realizada, tendo-se agora o conhecimento da verdade de campo. O conteúdo relativo a todas as feições teve uma super-ambudância de informação, o que justifica a aplicação desta metodologia em trabalhos de atualização. Optou-se por incluir as alterações detectadas em campo, para alguns dos temas interpretados. Assim, todas as correções foram realizadas no AutoCAD R.12 e posteriormente exportadas para o Idrisi através de arquivos DXF. Na seqüência, realizou-se o cálculo do comprimento ou área das feições de interesse.

#### 5. Resultados e Conclusões

A Carta Final atualizada para o ano de 1995 resultou da combinação das informações contidas nas minutas de atualização, das verificação preliminar através das fotografias aéreas de 1995 e dos trabalhos de campo. A Carta Topográfica Atualizada da Imagem Híbrida foi elaborada utilizando-se cores, com impressão na escala 1:50.000 através de plotadora de precisão. A Tabela 2 mostra os comprimentos e área totais para as feições que compõem a carta original e a carta final atualizada.

Tabela 2: Comprimentos e área totais - Carta Atualizada da Imagem Híbrida (IHS).

Imagem Híbrida	Carta Topográfica Original		Carta Atualizada	
Feições	Comprimento Total (m)	Área Total (m <sup>2</sup> )	Comprimento Total (m)	Área Total (m <sup>2</sup> )
Estradas Pavimentadas	406.300		1.284.071	-
Estradas Sem Pavimentação com Tráfego Permanente	1.500.100		1.099.874	-
Estradas Sem Pavimentação com Tráfego Periódico e Caminhos	4.475.800		5.606.567	-
Ferrovias	793.200		609.734	-
Linhas Transmissoras de Energia - Alta Tensão	1.181.800		1.549.409	-
Rede de Drenagem	5.441.400		8.605.260	
Áreas Urbanas		10.315.629	-	43.213.551
Lagoas e Represas		1.581.293		2.295.254
TOTAL	13.798.600	11.896.922	18.754.915	45.508.805

Observando-se os valores da Tabela 2 nota-se a grande contribuição quantitativa do procedimento de atualização proposto nesta pesquisa. Houve um significativo aumento no

quantidade de estradas pavimentadas (cerca de 700 km), principalmente devido a instalação da estrada Wilson Finardi (Araras-Ipeúna), sendo as demais resultantes da pavimentação de estradas sem pavimentação com tráfego periódico. Este fato justifica a diminuição do comprimento das feições desta última categoria. Pode-se, através da imagem híbrida IHS, detectar mais de 1000 km de estradas sem pavimentação com tráfego periódico.

As linhas transmissoras de energia aumentaram seus comprimentos totais em cerca de 300 km, apesar da dificuldade de identificação proporcionada por esta categoria.

Observou-se ainda o grande aumento nos comprimentos relativos à rede de drenagem, que equivalem a cerca de 3000 km de novos cursos d'água, além de mais de 700.000 m<sup>2</sup> de lagoas e represas registrados na atualização. Salienta-se que a rede de drenagem acrescentada à carta original corresponde principalmente a cursos d'água em áreas de nascentes.

Finalmente, as manchas urbanas tiveram um aumento total de aproximadamente 33 km<sup>2</sup>, valor que indica a grande concentração humana nas áreas urbanas, fenômeno comum nas cidades brasileiras que pode ser observado ao longo destes últimos trinta anos.

Para avaliar a precisão do geo-referenciamento, determinando-se o Erro Médio Quadrático (EMQ) do produto gerado, foram escolhidos **18 pontos de verificação** (diferentes dos pontos de controle utilizados) perfeitamente identificáveis na imagem em meio digital. Suas coordenadas de terreno foram coletadas das cartas topográficas do IGC, escala 1:10.000. Através de comparação destes com as coordenadas geo-referenciadas do sistema IDRISI, que correspondiam as coordenadas de tela dos pontos de verificação, pode-se obter o valor de EMQ  $EMQ_{E,N}$  da carta atualizada. Os valores de EMQ obtidos para a imagem a carta atualizada foram  $EMQ_E = 30$  m;  $EMQ_N = 28$  m;  **$EMQ_{E,N} = 41$  m.**

Como conclusão pode-se considera-se que o objetivo geral deste trabalho foi atingido já que foi possível realizar a detecção de alterações acompanhada da atualização da Carta Topográfica do IBGE, Folha Rio Claro, escala 1:50.000 através de metodologia alternativa, de baixo custo, fazendo uso de imagens orbitais e do Sistema de Informação Geográfica IDRISI FOR WINDOWS.

Com relação à qualidade geométrica da imagem orbital IHS, que gerou a carta atualizada, deve-se salientar que o EMQ de 41m não atingiu a tolerância adotada para mapeamento topográfico nesta escala (0,5mm na escala da carta ou 25m). Novos testes deverão ser realizados aumentando-se o número e melhorando-se a distribuição dos pontos de controle e de verificação, para uma avaliação mais detalhada do resultado obtido. Considera-se que, dentre os fatores que diminuem a qualidade geométrica do produto final gerado estão as limitações do sistema de digitalização em tela do IDRISI como, por exemplo, ausência de uma função que aproxime, com precisão, o cursor a um ponto previamente digitalizado (função snap) e a impossibilidade de alteração da espessura do traço.

A utilização de um scanner para a entrada dos dados de carta, embora bem sucedida, foi bastante trabalhosa e demorada. O uso do SIG Idrisi for Windows agilizou o processo de atualização, principalmente nos cálculos de áreas e comprimentos de feições. A limitação do Idrisi ainda reside na saída de dados. A alternativa encontrada foi realizar a atualização no Idrisi, a arte final no AutoCAD R.12. Após esta etapa realizou-se a quantificação final no Idrisi e a impressão

do produto final através do AutoCAD. Como esta é uma alternativa de baixo custo para realizar a tarefa de atualização, esta combinação de sistemas diferentes para realizar a entrada, saída de dados, processamento e a atualização é aceitável. Assim, mesmo com as limitações impostas pelos sistemas envolvidos, os resultados foram satisfatórios.

Na análise do conteúdo informativo das cartas finais observou-se que na categoria estradas as pavimentadas foram as que mais aumentaram, seguidas das sem pavimentação com tráfego periódico. Parte das estradas de tráfego permanente cederam lugar para as pavimentadas. A identificação das estradas pavimentadas não gerou dúvidas. Já as estradas sem pavimentação e caminhos tiveram uma pequena porcentagem confundida com cursos d' água assoreados, cercas e leito de ferrovia.

As ferrovias foram plenamente identificadas, não dando margem a dúvidas, exceto o pequeno trecho de caminho confundido com ferrovia.

As feições mais difíceis de serem identificadas foram, sem dúvida, as linhas transmissoras de energia, devido principalmente a dependência de contraste entre a faixa de domínio e o entorno. A atualização destas feições seria viável com o uso auxiliar de fotografias aéreas e um maior trabalho de campo.

As feições relativas à rede de drenagem, lagoas e represas foram atualizadas com facilidade e precisão, embora erros tenham sido cometidos no caso de algumas cercas vivas posicionadas nas vertentes. Os resultados quantitativos mostram que a atualização acrescentou grande quantidade de feições de drenagem à carta original.

A expansão urbana foi devidamente identificada, sendo da ordem de 4 vezes a área original ao longo da Folha Rio Claro.

A etapa de verificação de campo possibilitou a eliminação de dúvidas surgidas na tarefa de atualização. A verificação preliminar utilizando fotografias aéreas foi fundamental para a diminuição das jornadas de campo.

Finalmente, pode-se considerar o potencial das imagens orbitais estudadas utilizando-se o programa IDRISI FOR WINDOWS na detecção de feições para atualização de cartas topográficas na escala 1:50.000, quando se considera o conteúdo informativo. Quanto à precisão geométrica, os resultados para uma Folha 1:50.000 completa são insatisfatórios mas não são conclusivos. Eles apontam para a necessidade de um maior aprofundamento da análise através da repetição dos testes, alterando-se a posição e a quantidade de pontos de controle e de verificação adotados. Dando continuidade a esta pesquisa, pretende-se realizar este estudo detalhado de precisão geométrica, que será posteriormente divulgado.

## **Agradecimentos**

Agradeço especialmente à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento da pesquisa, sem o qual a realização deste trabalho não seria possível. Agradeço também aos avaliadores do SBSR pelas importantes contribuições encaminhadas.

## Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapeamento Geral do Brasil. s.l., 1991. Escalas diversas. Mapas-índice.
- Chavez, P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J.A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 57, nº 3, pp.295-303. 1991.
- Cintra, J. P. CAD, GIS, DBMS ou Cartografia Digital? CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XV. São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, USP, 1991. (2):343-348.
- Keates, J.S. **Understanding Maps**. New York, John Wiley & Sons Inc, 1982. 139p.
- Meneguette, A.A.C. **Cartographic accuracy and information content of space imagery for digital map compilation and map revision**. London, 1987. 464p. Ph. D. Thesis - University College London.
- , A.A.C. Exatidão cartográfica e conteúdo informativo de imagens de satélite para compilação e revisão de mapas digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, V. Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988. pp.232-235.
- Moik, J.G. **Digital Processing of Remotely Sensed Images**. Washington, NASA, 1980. 325p.
- Pinto, S.A.F. **Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos solos: Contribuição Metodológica**. São Paulo, 1991. 130p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Sanchez, R.D. Image mapping of the Viedma area, Argentina at 1:50.000-scale using merged Landsat TM and SPOT P data. **Revista Cartográfica**. v.51/52, pp.123-131. 1987.
- Schowengerdt, R.A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. Orlando, Academic Press. Inc., 1983. 245p.
- Viadana, M.I.C.F. **Atualização de Cartas Topográficas utilizando Imagens Orbitais - Metodologia Alternativa para Microcomputadores**. São Paulo, 1995. 135p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (SP).