

“O Sensoriamento Remoto como Instrumental para o Mapeamento da Urbanização Dispersa”

Cláudia Maria de Almeida
Madalena Niero Pereira
Claudia Durand A. B. Gonçalves
Íris de Marcelhas e Souza
José Carlos Moreira
Eliana Miglioranza
Rene Antonio Novaes Junior
Teresa Gallotti Florenzano

Abstract. This article is designed to provide an overview on the usage of remote sensing and GIS to map urban sprawl upon basis of medium-resolution satellite images. The introductory section exposes the very beginnings of remote sensing research in Brazil, with the foundation of the National Institute for Space Research - INPE. The second section aims at describing the methods and approaches employed to map urban sprawl in main metropolitan regions and highly urbanised areas of São Paulo State, southeast of Brazil, with the aid of TM – Landsat 5 images and GIS. Finally, the third section is dedicated to analyse the trade-off between orbital and air-borne remote sensing for urban applications as well as to reveal the demands for the coming generation of urban remote sensing achievements.

Keywords: *remote sensing, GIS, urban sprawl, urban land use and land cover change.*

1. Introdução

1.1 O INPE e a Entrada do Brasil na Era Espacial¹

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) nasceu da vontade de alguns brasileiros de fazer com que o País participasse da conquista do espaço iniciado nos anos 50. O Brasil começou a trilhar este caminho ao mesmo tempo em que as nações desenvolvidas lançavam os primeiros satélites artificiais da Terra.

Em 03 de agosto de 1961, o Presidente da República, Jânio Quadros, assinou um decreto criando o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE), subordinado ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), que foi o embrião do atual Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A princípio, o programa de pesquisa executado nos laboratórios do GOCNAE, instalada em São José dos Campos - SP, onde hoje se encontra a sede principal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estava intimamente ligado com estudos no campo das ciências espaciais e atmosféricas. Esses estudos incluíam sondagens na alta atmosfera realizadas por meio de ionossondas instaladas no solo e, principalmente, por meio de cargas úteis científicas levadas a bordo de foguetes lançados a partir da base da Barreira do Inferno, em Natal – RN.

No dia 22 de abril de 1971, mediante a extinção da GOCNAE, foi criado oficialmente, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), subordinado diretamente ao CNPq. O decreto de criação do INPE definia o Instituto como o principal órgão de execução civil para o desenvolvimento das pesquisas espaciais, sob a orientação da Comissão Brasileira de

¹ Esta seção foi extraída da página oficial da história do INPE (INPE, 2006).

Atividades Espaciais (COBAE), órgão de assessoramento da Presidência da República.

Ao longo do tempo, a utilização de satélites meteorológicos, de comunicação e de observação da Terra, foi aparecendo como atividade bem próxima das reais necessidades brasileiras. Com isto, foram implantados os projetos MESA, para recepção e interpretação de imagens de satélites meteorológicos, SERE, para utilização das técnicas de sensoriamento remoto por satélites e aeronaves para levantamento de recursos terrestres, e SACI, para aplicação de um satélite de comunicações geoestacionário para ampliar o sistema educacional do País. Até meados da década de 70, esses eram os principais projetos conduzidos pelo INPE.

No final da década de 70, o INPE ingressou em nova fase de sua história, com a aprovação pelo Governo Federal da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB); o Instituto acrescentou à sua vocação inicial, voltada a pesquisa e aplicações, o conseqüente desenvolvimento da tecnologia espacial. A experiência adquirida, durante duas décadas, na utilização de satélites estrangeiros, demonstrava que um País com as dimensões continentais do Brasil, de imensas áreas pouco conhecidas e praticamente inabitadas, não podia prescindir do desenvolvimento de tecnologia espacial própria voltada a sua realidade que levasse à integração e ao conhecimento do seu território.

No dia 15 de março de 1985, foi criado o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), passando o INPE a integrá-lo na qualidade de órgão autônomo da Administração Direta, o que lhe conferiu maior autonomia administrativa e financeira.

Durante a década de 80, o INPE implantou e passou a desenvolver programas que são hoje prioritários como: a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (*China-Brazil Earth Resources Satellite - CBERS*), o Programa Amazônia (AMZ) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Também, manteve-se atento ao desenvolvimento de outros países na área espacial, tanto que ainda é permanente o intercâmbio e a cooperação entre o INPE e as instituições similares internacionais. Nesse período, também, implantou o seu Laboratório de Integração e Testes (LIT), o único do Hemisfério Sul que desenvolve atividades altamente especializadas e fundamentais ao sucesso do Programa Espacial Brasileiro.

A década de 90 é marcada pelos primeiros resultados da MECB. Em 1993, é colocado em órbita o primeiro satélite brasileiro, o SCD-1, demonstrando a capacidade brasileira no desenvolvimento e operação de sistemas espaciais. Em 1998, o SCD-2 é também lançado com sucesso, operando com melhor desempenho do que o primeiro, devido às inovações tecnológicas. O CBERS-1, Satélite Sino-brasileiro de recursos terrestres fruto da cooperação entre os governos Brasileiro e Chinês, foi lançado pelo foguete chinês Longa Marcha - 4 da base de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. Atualmente, já se encontra em plena operação o seu sucessor – CBERS-2. O reconhecimento da capacidade do INPE no desenvolvimento de tecnologia espacial e também de aplicações, reflete-se na participação brasileira na construção da Estação Espacial Internacional (*International Space Station - ISS*), o maior empreendimento do mundo no setor, reunindo 16 países. A participação do INPE na ISS proporciona ao Brasil a oportunidade de realizar experimentos tecnológicos e em diversos campos da ciência.

As atividades atualmente desenvolvidas pelo INPE buscam demonstrar que a utilização da ciência e da tecnologia espacial pode influir na qualidade de vida da população brasileira e no desenvolvimento do País.

1.2 Organograma do INPE: A Divisão de Sensoriamento Remoto e seu Grupo de Estudos Urbanos

O INPE estrutura-se, a princípio, em oito grandes coordenações (Figura 1). A Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais – CEP – encarrega-se basicamente dos programas de pós-graduação (*latu e strictu sensu*), onde se formam especialistas em Sensoriamento Remoto, além de mestres e doutores em Sensoriamento Remoto, Meteorologia, Astrofísica, Geofísica Espacial, Engenharia e Tecnologia Espaciais e Computação Aplicada.

A Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE, o Centro de Tecnologias Espaciais – CTE e o Centro Espacial de Cachoeira Paulista – CES desempenham atividades referentes ao planejamento, construção e avaliação e de sistemas sensores, plataformas orbitais e veículos lançadores. Integrados diretamente a estas coordenações, estão o Centro de Rastreo e Controle de Satélites – CRC e o Laboratório de Integração e Testes – LIT, conhecido internacionalmente como o melhor laboratório neste âmbito no hemisfério sul.

Por sua vez, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos responsabiliza-se pela pesquisa científica e geração de prognósticos meteorológicos, tanto continentais quanto oceânicos. Já a Coordenação Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas dedica-se à realização de pesquisas básicas e aplicadas com a finalidade de entender os fenômenos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera e no espaço, como eletricidade da atmosfera, geomagnetismo terrestre e explosões magnéticas solares, dentre outros.

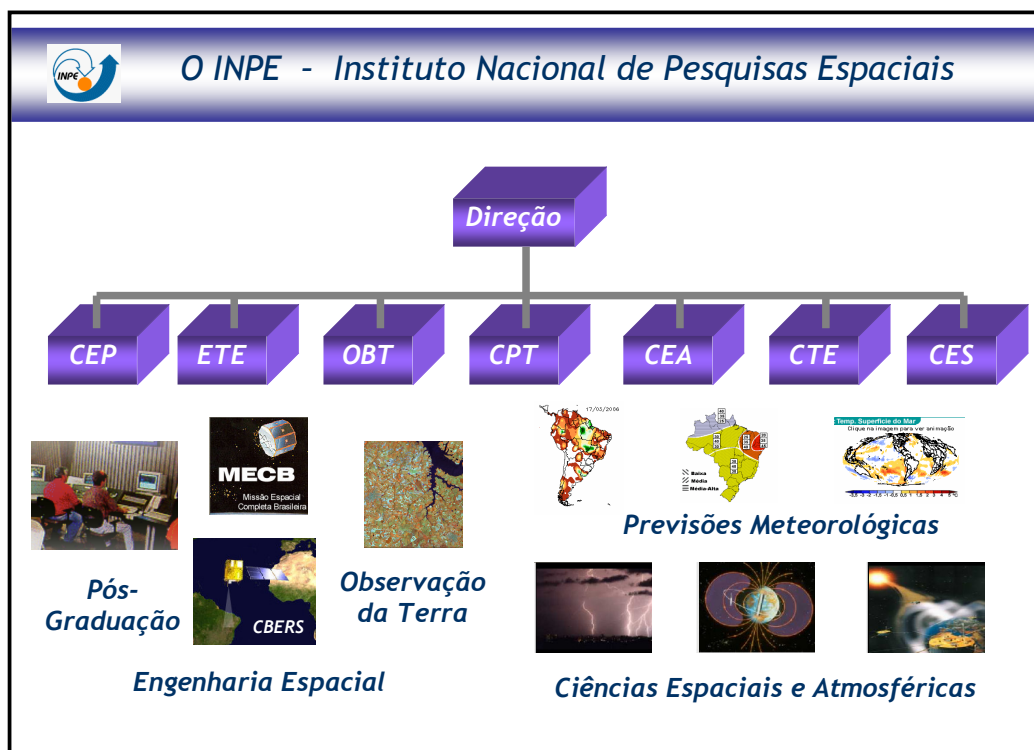


Figura 1 – Estrutura organizacional do INPE.

Por fim, a Coordenação Geral de Observação da Terra – OBT – se incumba de aplicações, tecnologia e desenvolvimento científico relacionados aos estudos dos ecossistemas terrestres e aquáticos através do uso de sensores orbitais e aerotransportados. A OBT consiste basicamente de três divisões: a Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR, a Divisão de Processamento de Imagens – DPI e a Divisão de Geração de Imagens – DGI.

A **DSR** possui um amplo leque de grupos e linhas de pesquisa que se voltam a estudos diversificados como Engenharia Florestal, Ecologia, Agronomia, Sistemas Aquáticos de Água Doce, Oceanografia, Geologia, Geomorfologia, Biologia, Radiometria, Telemetria, Engenharia de Pesca, além de Planejamento e Gestão Territorial. Esta última linha – Sistemas e Métodos de Planejamento e Gestão Territorial – abriga o **Grupo de Estudos Urbanos – GEU**, que compreende as seguintes linhas de pesquisa:

- ***Aplicação e Desenvolvimento de Métodos e Técnicas para Extração de Informação de Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial***

Esta linha é voltada para a experimentação e concepção de novas técnicas de processamento digital de imagens visando à extração de informações referentes ao ambiente urbano, como forma de subsidiar as atividades de planejamento e gestão urbana.

- ***Modelagem Dinâmica de Processos Sociais e Ambientais***

Esta linha objetiva (i) simular em ambiente computacional fenômenos dinâmicos como mudanças de uso do solo urbano, mobilidade intra e inter-regional, processos de micro-clima urbano etc.; (ii) elencar as variáveis forçantes desses fenômenos, avaliando o seu grau de importância e impacto na caracterização dos mesmos; e (iii) executar simulações de prognóstico com base em conjecturas diferenciadas de cenários futuros.

- ***Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG Aplicadas ao Planejamento Urbano e Regional***

Os seus objetivos compreendem a utilização de técnicas de geoprocessamento e extração de informações de imagens digitais (orbitais ou aerotransportadas) para estudos urbanísticos, como planejamento de infra-estrutura, classificação de uso e cobertura do solo, inferências de contagem e densidade populacional, análise de adequabilidade de sítio, avaliação de riscos ambientais etc.

Nesta linha se enquadram as atividades de mapeamento da urbanização dispersa para suporte à pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação – LAP da FAUUSP.

- ***Geomorfologia em Ambientes Urbanos***

Esta linha se dedica a analisar a gênese e morfologia urbanas a partir de seu quadro geomorfológico, avaliar riscos ambientais e conduzir análises de adequabilidade de sítio para a ocupação urbana a partir do estudo das variáveis geomorfológicas.

- ***Vulnerabilidade Ambiental a Mudanças Globais em Áreas Urbanas***

Nesta última linha, objetiva-se a realização de estudos sobre avaliação de riscos e impactos de desastres naturais e antrópicos em ambientes urbanos, bem como analisar a dimensão humana da vulnerabilidade ambiental a mudanças globais, através de métodos qualitativos e quantitativos.

1.3 Breve Histórico do Uso do Sensoriamento Remoto em Estudos Urbanos

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como o conjunto de atividades que tratam da obtenção de informação relativa aos recursos naturais da Terra ou seu meio ambiente, obtida através de sensores instalados a bordo de plataformas em altitude (tais como balões, foguetes, aviões e satélites), os quais coletam a radiação eletromagnética emitida ou refletida por um alvo, convertendo-a em um sinal que é posteriormente processado em terra, com fins à geração de imagens (Slater, 1980). Assim sendo, não somente as imagens de satélite, bem como as originadas por plataformas aerotransportadas (aerofotogrametria analógica e digital) constituem a matéria de trabalho do Sensoriamento Remoto.

Atividades de processamento digital de imagens de satélite para fins de estudos urbanos tiveram início ainda na década de 70. Em vista da baixa resolução espacial (79 x 79 m) da primeira geração de satélites da época, os estudos eram tímidos, limitando-se: (i) à classificação de áreas urbanas e não-urbanas (Dueker e Horton, 1972; Foresti et al., 1973); (ii) ao monitoramento do crescimento urbano através de imagens multitemporais (Lindgren, 1975; Foresti et al., 1980, Niero et al., 1982); (iii) a análises de impacto ambiental da ocupação urbana, por meio do cruzamento das áreas urbanizáveis com mapas de caracterização do sítio físico (Paul et al., 1975; Foresti et al., 1978); e (iv) a inferências populacionais a partir de análises de regressão simples entre área ocupada e densidade populacional média (Foresti, 1977).

A segunda geração de sensores orbitais, que se estende da metade da década de 80 até o final da década de 90, oferece resolução espacial mais refinada (5 m a 10 m na banda pancromática e 20 m a 30 m nas bandas multiespectrais), e vem acompanhada por estudos mais sofisticados, que passam a explorar o espaço intra-urbano, tanto do ponto de vista físico (Nellis et al., 1997) quanto social-demográfico (Henderson e Xia, 1997). Isto foi possibilitado não apenas pelo avanço tecnológico na resolução espacial dos sensores, mas também, e sobretudo, por avanços paralelos nas técnicas de processamento digital de imagens (Howarth e Boasson, 1983; Moller-Jensen, 1990; Solberg et al., 1990). Datam dessa época estudos pioneiros sobre o mapeamento de vazios urbanos e identificação de equipamentos urbanos (Tanaka et al., 1999) e classificação de usos do solo urbano, como residencial, comercial, industrial etc. (Barnsley e Bar, 1996).

Na transição para o novo milênio, a segunda geração se vê suplantada pela subsequente, com avanços na resolução espacial da ordem de 0,67 m a 1 m na banda pancromática e 4 m nas bandas multiespectrais, compreendendo os sensores de alta e altíssima resolução espacial, os quais migraram do setor militar para a pesquisa civil. Nesta fase recente de experimentações, os estudos passam a detalhar com maior profundidade os alvos urbanos (Donnay et al., 2001; Benz et al., 2004), categorizando as coberturas do solo urbano em nível de materiais (asfalto; cobertura cerâmica, metálica ou de concreto etc.), além de discriminar a vegetação de acordo com o porte (arbórea ou rasteira) e forma (conífera, perenifolia etc.). Para extrair informações sobre o ambiente urbano, as técnicas de processamento digital de imagens deixam de focar para características do pixel de forma isolada, passando a abordar a imagem de forma contextual, enfocando um conjunto de pixels, isto é, o pixel mais a sua vizinhança imediata. Além do maior detalhamento sobre a categorização dos alvos urbanos, a nova geração de sensores permite a reconstrução tri-dimensional da volumetria urbana (Figura 2), seja através de pares estereoscópicos obtidos a partir de imagens

ópticas, seja através de sensores ativos como os de raio laser – LIDAR (Haala e Brenner, 1999; Jochen e Manfred, 2005).

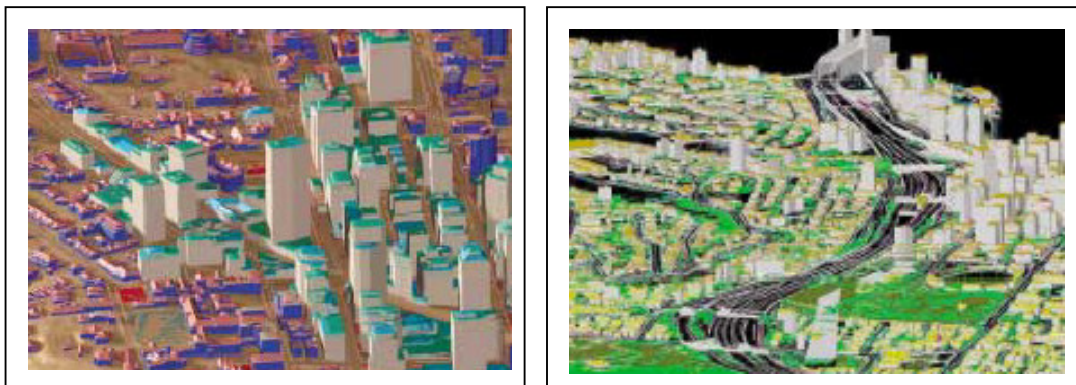


Figura 2 – Exemplos de modelagem tri-dimensional do norte de Sidnei, Austrália.
Fonte: Leica Geosystems, 2005.

Esta nova geração representa uma revolução tanto em termos de métodos de processamento de imagens, bem como no nível de detalhamento do cenário urbano a ser extraído a partir das mesmas, possibilitando formas promissoras de exploração do universo intra-urbano e ampliando os horizontes de aplicações do Sensoriamento Remoto com fins ao Planejamento Físico-Territorial e Ambiental.

2. O Sensoriamento Remoto no Apoio à Pesquisa sobre Dispersão e Mudanças no Tecido Urbano no Estado de São Paulo²

Para se identificar os limites das manchas urbanas de áreas de interesse no Estado de São Paulo em 1970, quando então ainda não haviam sido lançados satélites de observação da Terra, foram utilizadas cartas topográficas do IBGE, as quais foram escaneadas, de modo a possibilitar a vetorização em tela dos limites dos centros urbanos principais e núcleos de urbanização dispersa.

Imagens do sensor *Thematic Mapper* - TM do satélite americano Landsat de média resolução espacial (30 x 30 m) foram utilizadas para mapear, desde meados da década de 80 até o ano de 2000 (em intervalos de aproximadamente uma década), a urbanização dispersa em áreas intensamente urbanizadas no Estado de SP nas suas várias manifestações, seja na forma de loteamentos isolados, industriais ou residenciais de baixo, médio ou alto padrão, seja enquanto tipologias condominiais diversificadas, ou ainda, enquanto empreendimentos imobiliários de usos múltiplos.

Cada uma das cenas das imagens TM foi submetida a registro, procedimento destinado a ajustar a cena a um sistema de projeção geográfica, com base em pontos de controle obtidos originalmente em uma carta topográfica do IBGE, utilizada como referência. Após o registro da primeira cena, a mesma foi utilizada para fornecer pontos de controle a fim de co-registrar as demais cenas. As cenas já registradas foram então *mosaicadas* (unidas em um mesmo *layer*) e submetidas a equalização (uniformização dos seus níveis de cinza em vista de variações nas calibrações do sensor ou nas condições atmosféricas no momento da aquisição das cenas). Já

² Projeto de pesquisa desenvolvido pelo Laboratório de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (LAP – FAUUSP), com apoio da FAPESP.

equalizadas, as cenas ficam aptas a receberem uma composição colorida específica, por meio de um triplete de bandas espectrais, utilizando-se o sistema aditivo de cores (RGB – “red, green, blue” ou vermelho, verde e azul). Sobre a composição colorida das cenas mosaicas, é feito um recorte das áreas de interesse através de uma máscara vetorial, que representa o limite de um conjunto de municípios, considerados de destaque para a pesquisa sobre urbanização dispersa (Figura 3).

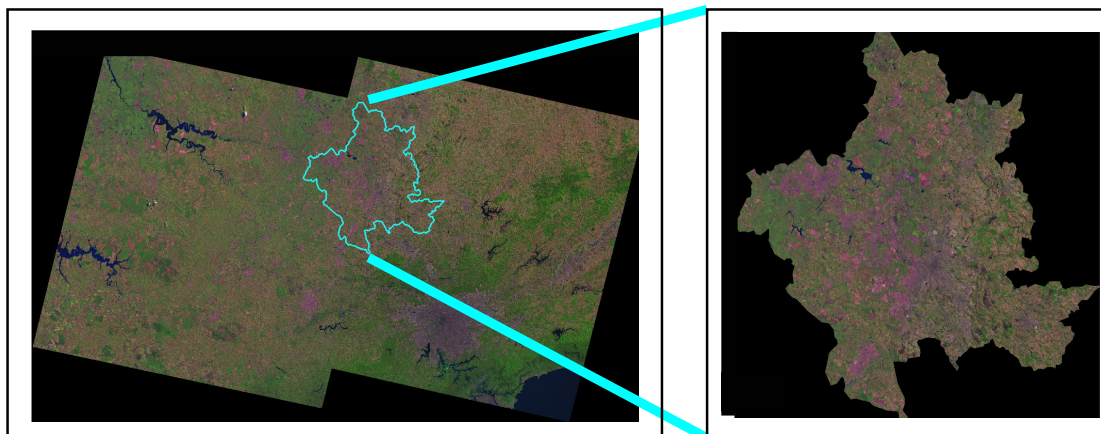


Figura 3 – Mosaico de duas cenas TM com composição colorida (à esquerda) e recorte da região de interesse através de máscara vetorial em cor azul claro, compreendendo Campinas e municípios próximos (à direita).

Para se extrair informações sobre os limites das aglomerações urbanas principais e áreas de urbanização dispersa, procedeu-se inicialmente a uma classificação automática das cenas mais recentes (2000), feita a partir de uma segmentação das imagens. A segmentação consiste na compartimentalização da cena em segmentos (conjunto de pixels) homogêneos do ponto de vista da média e variância do nível de cinza dos seus pixels constituintes. Cada segmento é associado a uma classe (abstrata), com uma determinada cor. Essa classificação inicial é então remapeada para duas únicas classes, gerando assim um mapa binário, com as cores verde – que corresponde às áreas não-urbanas, e rosa, referente às áreas urbanas (Figura 4).

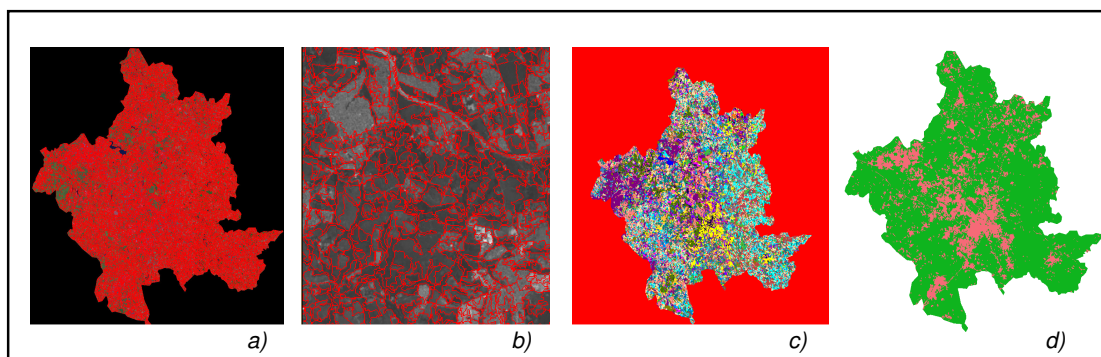


Figura 4 – Segmentação da imagem de Campinas e entorno (a); detalhe da segmentação (b); classificação inicial da imagem com classes abstratas (c); classificação final, com áreas não-urbanas em verde e urbanas em rosa (d).

A partir dos limites das áreas urbanas gerados pela classificação automática, e com base nas respectivas composições coloridas das imagens de anos anteriores (1984³ e 1990), foram feitas interpretações visuais de modo a se reconstituir as aglomerações urbanas principais e núcleos dispersos para as décadas passadas.

Visando à conferência da acurácia dos procedimentos de interpretação visual, adotou-se a técnica de acoplamento, através da qual se carrega simultaneamente em tela a imagem em composição colorida e a respectiva classificação de cobertura do solo dela derivada (Figura 5). Este recurso também foi utilizado para a conferência do mapeamento das áreas urbanas entre as diferentes datas (1970, 1984, 1990 e 2000), a fim de que polígonos representativos de áreas ou núcleos urbanos em datas mais antigas não resultassem maiores do que aqueles correspondentes às mesmas localidades em datas mais recentes. Dependendo da qualidade da classificação, foram feitas edições vetoriais nos limites das áreas urbanas.

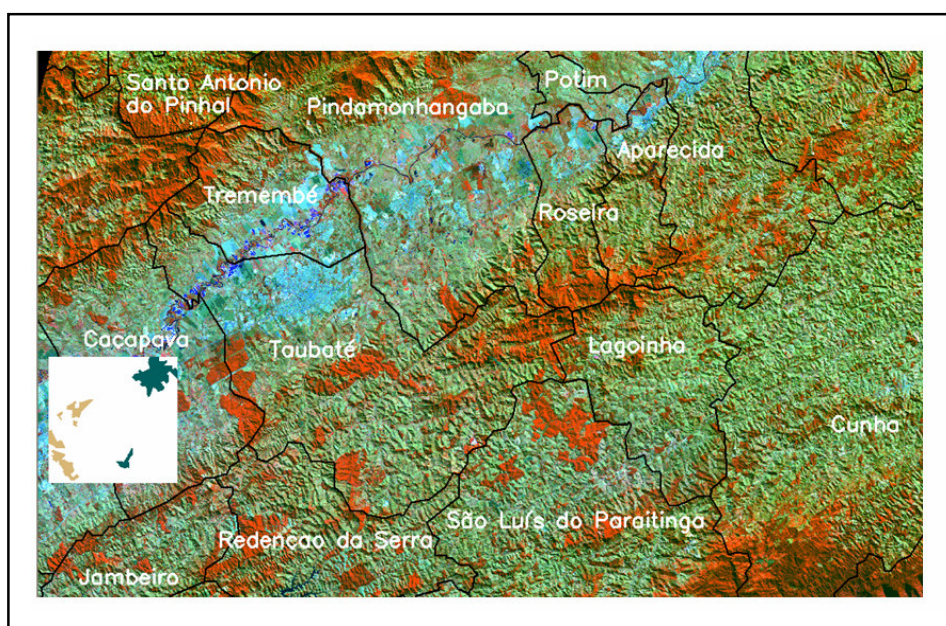


Figura 5 – Exemplo da técnica de acoplamento no canto inferior esquerdo da imagem. Na janela sobreposta à imagem, referente ao *layer* da classificação de usos urbanos e não-urbanos, a cor verde representa áreas urbanas de Caçapava, e a cor ocre, áreas urbanas de São José dos Campos.

Para subsidiar as análises estatísticas de núcleos de urbanização dispersa, foram gerados círculos concêntricos a partir do marco zero das cidades, espaçados entre si de 1 km. Com base nessa delimitação espacial, foi levantado o número total de ocorrências de núcleos dispersos e respectivas áreas em função de sua distância ao centro oficial (Figura 6). Também foram geradas linhas de igual distância entre si (isolinhas), com espaçamento de 1 km, a partir do contorno da aglomeração urbana

³ Devido ao fato de que no começo da década de 80 as imagens do satélite Landsat apresentavam resolução espacial de 79 x 79 m (sensor "Multispectral Scanner – MSS"), o estudo da urbanização dispersa nesta década tomou como referência o ano de 1984, quando de fato passaram a ser disponibilizadas imagens com resolução espacial de 30 x 30 m, fornecidas pelo sensor "Thematic Mapper – TM".

principal de cada uma das cidades, como método complementar. Estes procedimentos encontram-se descritos mais pormenorizadamente em Pereira et al. (2005).

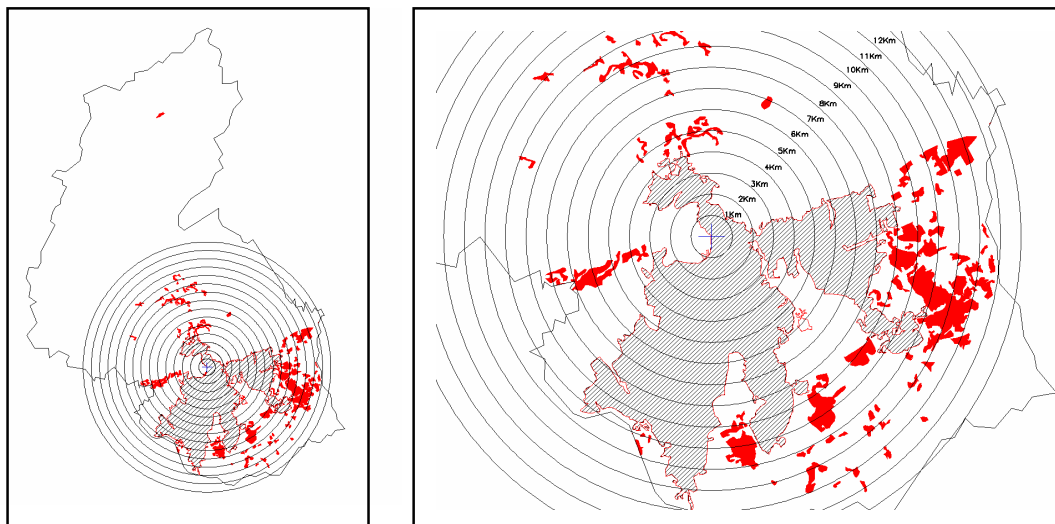


Figura 6 – Exemplo de geração de círculos concêntricos para análises estatísticas de urbanização dispersa em São José dos Campos. À esquerda, encontra-se o limite do município, com a área urbana ao sul, sendo a aglomeração urbana principal demarcada em cinza, e os núcleos dispersos, em vermelho. O marco zero da cidade, identificado por coordenadas geográficas (x,y), está assinalado com uma cruzeta azul. À direita, vê-se um detalhe destes círculos, com as respectivas distâncias em km a partir do marco zero.

O banco de dados digitais da pesquisa sobre urbanização dispersa e mudanças no tecido urbano também compreendeu a hidrografia bem como a malha rodo-ferroviária do Estado de São Paulo. Os dados foram obtidos junto ao DER na forma digital apenas para o ano de 2000. A partir de mapas rodoviários impressos relativos aos anos de 1970, 1984 e 1990, foram feitas reconstituições digitais da malha rodoviária do Estado para os anos de interesse (Pereira et al., 2005). A inserção das rodovias no banco de dados se justifica em face das mesmas atuarem como eixos de dispersão da urbanização, em que as grandes rodovias impulsionam, fundamentalmente, a dispersão industrial e de grandes estabelecimentos de comércio ou de uso múltiplo (comércio e serviços), e as estradas vicinais ou rodovias de menor porte, a dispersão residencial (Reis, 2006).

Por fim, após a montagem do banco de dados, foram feitos, com base em máscaras vetoriais, os recortes das áreas de interesse para a pesquisa, que correspondem às regiões metropolitanas, além de áreas intensamente urbanizadas e com altos índices de industrialização. Essas áreas incluem, além da macrometrópole paulista, conglomerado que corresponde à **Região Metropolitana de São Paulo**, **Região Metropolitana de Campinas**, **Região Metropolitana da Baixada Santista** e Região do **Vale do Paraíba**, a região de **São José do Rio Preto** (Ipiguá, Onda Verde, Guapiaçu, Cedral, Mirassol, Bady Bassit), a região de **Marília** (Getulina, Guaimbé, Júlio Mesquita, Pompéia, Oriente, Álvaro de Carvalho, Vera Cruz, Echaporã, Ocaucu), a região de **Bauru** (Reginópolis, Iacanga, Arealva, Avaí, Piratininga, Agudos, Pederneiras), a região de **Ribeirão Preto e Araraquara**, além dos municípios de **Franca**, **Barretos**, **Araçatuba**, **Presidente Prudente** e **Registro** (Figura 7).

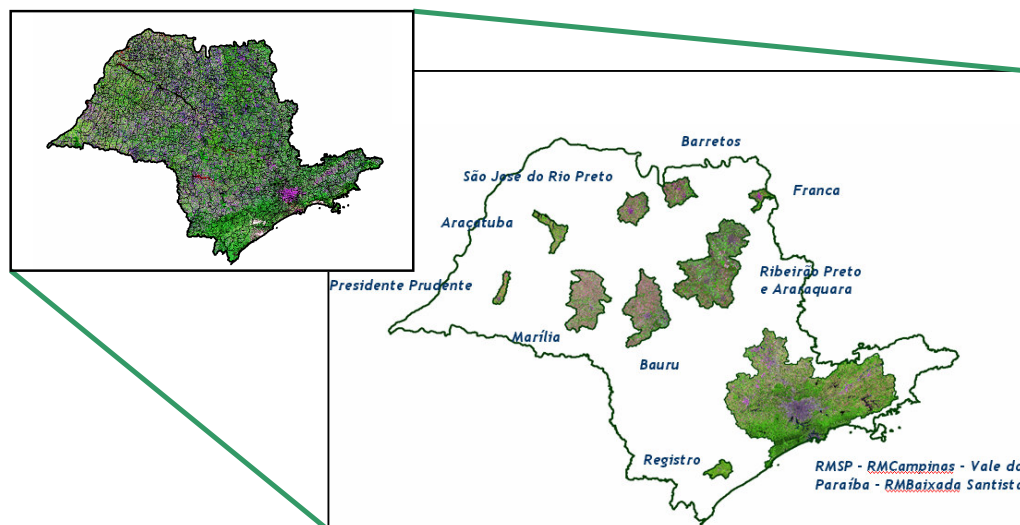


Figura 7 – Recobrimento do Estado de São Paulo por imagens TM-Landsat (2000) no alto à esquerda, e recortes das áreas de interesse para a pesquisa à direita.

3. Perspectivas para o Sensoriamento Remoto Orbital e Aerotransportado em Aplicações Urbanas

Embora as imagens de satélite impliquem maior complexidade e rigor de procedimentos no seu tratamento, elas oferecem, em contraposição às aerofotos, visão sinóptica e repetitividade de recobrimento com custo comparativamente inferior (Tabela 1), características estas imprescindíveis para estudos de caráter regional com monitoramento sistemático.

TABELA 1. Análise comparativa das vantagens e desvantagens do Sensoriamento Remoto Orbital e aerofotos em aplicações urbanas.

QUESITOS	SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL	AEROFOTOS
Abrangência	<i>Visão Sinóptica</i>	<i>Visão Pormenorizada</i>
Frequência de Recobrimento	<i>Repetitividade (Monitoramento Sistemático)</i>	<i>Customização (Monitoramento Ocasional)</i>
Custo	<i>Comparativamente Inferior</i>	<i>Comparativamente Superior</i>
Aplicabilidade	<i>Estudos Regionais</i>	<i>Estudos Intra-Urbanos/Cadastro</i>

O panorama de consolidação de técnicas avançadas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao Planejamento Urbano, Regional e Ambiental aponta para uma intensificação do uso de geotecnologias que incorporem mais adequadamente rotinas de processamento digital de imagens condizentes com a múltipla complexidade dos fatores intervenientes no processo de ocupação territorial, e que incluam a análise multidimensional dos mesmos, nos seus aspectos temporais, espaciais (escalares) e hierárquicos (incidência e importância), e de suas implicações recíprocas.

Tal panorama demanda, dessa forma, a intensificação dos setores de pesquisa voltados para a aplicação destas tecnologias, uma vez que tanto no país quanto no

cenário internacional, muitas das teorias e técnicas de sensoriamento orbital e aerotransportado de última geração permanecem ainda imperfeitas ou incompletas, e além disso, muito do potencial de utilização de tais tecnologias para diversos setores do Planejamento Físico-Territorial permanece ainda pouco explorado, ou com soluções abertas.

Em um futuro muito próximo, devido à desenfreada velocidade de mudanças conjunturais e de circulação da informação em um mundo cada vez mais globalizado, os métodos analógicos convencionais de planejamento tornar-se-ão rapidamente inadequados a gerar respostas rápidas às crescentes demandas, fazendo com que órgãos governamentais de gestão e planejamento não mais possam prescindir do uso de Sensoriamento Remoto avançado e de geotecnologias em seu dia-a-dia.

Referências Bibliográficas

BARNESLEY, M.J.; BARR, S. L. Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 2, n. 8, p. 949-958, 1996.

BENZ, U.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, p. 239-258, 2004.

DONNAY, J. P.; BARNESLEY, M. J.; LONGLEY, P. A. **Remote Sensing and Urban Analysis**. London: New Fater Lane, 2001.

DUEKER, K. J.; HORTON, F. E. Urban-change detection systems – remote-sensing inputs. **Photogrammetria**, v. 28, n. 3, p. 89&, 1972.

FORESTI, C.; CAMARGO, J. C. G.; PINTO, S. A. F. **Preliminary studies of region around Brasilia using ERTS-1 images**. Relatório Técnico – RPE, 1973.

FORESTI, C. Population and urban growth estimates using Landsat data. In: Simposio Internacional de Percepción Remota Aplicada a Demografia y Uso Actual da la Tierra, 1., 1977. La Paz, Bolivia. **Anais...** La Paz: Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota (SELPER), 1977.

FORESTI, C.; CREPANI, E.; MARTINI, P. R.; HERNANDEZ FILHO, P.; PINTO, S. A. F.; CARVALHO, V. C. Avaliação das imagens Landsat no reconhecimento de domínios naturais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 1., 1978. São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1978.

FORESTI, C.; OLIVEIRA, M. L. N.; NIERO, M.; PARREIRA, E. M. M. F. O uso da técnica de registro de imagens para o monitoramento do crescimento urbano. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 39, dez. 1980.

HAALA; N.; BRENNER, K. Extraction of buildings and trees in urban environments. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 54, n. 2-3, p. 130-137, 1999.

HENDERSON; F. M.; XIA, Z-G. SAR applications in human settlement detection, population estimation and urban land use pattern analysis - A status report. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 1, p. 79-85, 1997.

HOWARTH, P. J.; BOASSON, E. Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. **Remote Sensing of Environment**, v. 13, n. 2, p. 149-160, 1983.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sobre o INPE**: história do INPE. Disponível em <http://www.inpe.br/sobre_o_inpe/historia.htm>. Acesso em 30 mar. 2006.

JOCHEN, S.; MANFRED, E. A novel method for generating 3D city models from high resolution and multi-sensor remote sensing data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 683-698, 2005.

LEICA GEOSYSTEMS. **North Sydney sets the world stage for 3-D urban modelling**. Disponível em <http://www.leica-geosystems.com/media/new/product_solution/north_sydney.pdf>. Acesso em 17 jun. 2005.

MOLLER-JENSEN, L. Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in landsat TM imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 56, n. 6, 1990.

LINDGREN, D. T. Applications of remote sensing to monitoring of urban-growth. **Review of Public Data Use**, v. 3, n. 3, p. 2-6, 1975.

NELLIS, M. D.; BUSSING, C. E.; NKAMBWE, M.; COLEMAN, T. L. Urban land use and morphology in a developing country using SPOT HRV data: Gaborone, Botswana. **Geocarto International**, v. 12, n. 1, p. 91-97, 1997.

NIERO, M.; LOMBARDO, M. A.; FORESTI, C. The use of Landsat data to monitor the urban growth of Sao Paulo Metropolitan area. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), 16., 1982. Buenos Aires. **Proceedings...** Michigan, EUA: ERIM, 1982.

PAUL, C. K.; LANDINI, A. J.; DIEGERT, C. Remote-sensing applications for urban-planning LUMIS Project. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 41, n. 6, p. 781-781, 1975.

PEREIRA, M. N.; GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA, I. M.; GARCIA, S.; PORTELA, A. G.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G. Uso de imagens de satélite como subsídio ao processo de urbanização. **Cadernos de Pesquisa do LAP**, v. 46, p. 4-33, jun. 2005.

REIS, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2006. 201 p.

SLATER, P. N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Boston, MA: Addison-Wesley Pub. Co., 1980. 575 p.

SOLBERG, R.; FISKUM, S.; GIFFEN, M. C. Detection of urban areas by interference filtering. In: Remote Sensing for the Nineties, Annual International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10., 1990. Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: IGARSS, 1990. p. 20 – 24.

TANAKA, S.; TAKASAKI, K.; YAMANOKUCHI, T.; KAMEDA, K. RADARSAT and TM data fusion for urban structure analysis. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 1, 1999.