

APLICAÇÃO DE COMPOSIÇÕES MULTITEMPORAIS OBTIDAS A PARTIR  
DE DADOS LANDSAT NO ESTUDO DE CRESCIMENTO URBANO

Madalena Niero  
Maria de Lourdes Neves de Oliveira  
Celina Foresti  
Ubirajara Maurício Barsotti de Lima

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

O crescimento urbano tem ocorrido de modo acelerado e desordenado na maioria das cidades brasileiras. Um dos fatores que afeta o acompanhamento e controle do crescimento urbano é a falta de informações precisas e atualizadas. Através do sensoriamento remoto orbital é possível obter uma cobertura repetitiva da área em estudo capaz de mostrar as diferentes tendências do crescimento urbano. Assim sendo este trabalho tem como objetivo analisar a expansão urbana de São José dos Campos nos últimos seis anos através do tratamento digital de dados LANDSAT. Para isto utilizou-se o programa Registro de Imagens, disponível no sistema Image-100, que permite a superposição de cenas LANDSAT obtidas em diferentes datas. Foram obtidas composições multitemporais utilizando-se filtros (azul, vermelho e verde). A análise das composições permitiu a avaliação do crescimento urbano da cidade de São José dos Campos ocorrido nos períodos de estudo, evidenciando o intenso processo de formação de loteamentos periféricos, resultantes do parcelamento do solo rural.

ABSTRACT

The urban growth has occurred in an accelerated and disorganized way in most of Brazilian towns. One of the factors which influence the monitoring and control of urban growth is the lack of precise and updated information. Through the use of orbital remote sensing data it is possible to obtain a repetitive covering of the study area showing the different tendencies of urban growth. On this way, the objective of this work is to analyse the urban growth of the town of São José dos Campos during the last six years, using automatic digital processing of LANDSAT data. For this purpose it was used the algorithm Image Registration implemented at the Image-100 system, which permits the image registration of LANDSAT data in different dates. Multitemporal color compositions using the colored filters (blue, green and red) were obtained. The analysis of the composites allowed the evaluation of urban growth of São José dos Campos and showed the intense process of construction of isolated residential parcels, resulting from the division of rural lands into parcels or lots.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das dificuldades na realização do processo de planejamento urbano nas cidades brasileiras é a falta de informações relativas às tendências do crescimento urbano, considerado nas suas dimensões espaciais e temporais.

As técnicas convencionais para o monitoramento do crescimento urbano que envolvem levantamento de campo e/ou aerofotogramétrico, dispendiosas em tempo e recursos, têm se mostrado inadequadas à realidade brasileira. Uma alternativa que parece razoável na solução deste problema é o uso de dados multitemporais de satélites.

Estudos realizados na área urbana de Brasília por Oliveira et alii (1984) mostraram a utilidade de dados MSS-LANDSAT, aplicados ao monitoramento do crescimento urbano, através da técnica de registro de imagens disponível no Analisador Interativo de Imagens Multiespectrais (I-100). Esta técnica permite a superposição de cenas de diferentes datas, as quais combinadas com o uso de filtros possibilitam a obtenção de composições coloridas multitemporais que facilitam a identificação e a localização das áreas de crescimento urbano.

O objetivo do presente trabalho é testar a aplicação desta técnica no monitoramento do crescimento urbano de cidades espontâneas. A cidade de São José dos Campos, Estado de São Paulo, foi selecionada como área de estudo para verificar a adequação da técnica em cidades que não apresentam a mesma racionalidade organizacional de Brasília, DF.

A seleção da cidade de São José dos Campos como área teste deu-se em função do intenso crescimento que esta cidade tem apresentado nas últimas décadas.

Segundo dados censitários da IBGE (1954, 1962, 1973, 1981) a sede do município de São José dos Campos apresentou populações de 25.892 habitantes em 1950; 55.349 habitantes em 1960; 130.118 habitantes em 1970 e 268.073 habitantes em 1980; dados estes que mostram a dinâmica do seu crescimento populacional.

Neste trabalho será estudado o crescimento da mancha urbana de São José dos Campos no período de 1978 a 1984, e avaliadas as alterações ocorridas na sua estrutura espacial de modo a absorver o seu intenso crescimento demográfico.

## 2. PROCEDIMENTOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas informações do MSS/LANDSAT referentes às passagens de 31 de janeiro de 1978, 2 de fevereiro de 1981 e 13 de janeiro de 1984. Procurou-se selecionar imagens da mesma época do ano para minimizar problemas de diferenças sazonais e de iluminação da cena, decorrentes do ângulo de elevação solar.

O período chuvoso é mais indicado para o monitoramento do crescimento urbano com dados orbitais, devido à maior separabilidade espectral entre área urbana e arredores. Nesta época do ano a vegetação encontra-se mais exuberante, o que provoca maior contraste entre os alvos.

A análise do crescimento urbano de São José dos Campos estendeu-se de 1978 a 1984, uma vez que Foresti (1978), utilizando dados LANDSAT, embora registrados manualmente, verificou o crescimento ocorrido entre 1972 (data dos primeiros dados LANDSAT) e 1976.

O processamento digital dos dados foi feito a partir da utilização do Sistema I-100 e obedeceu aos seguintes passos:

- 1) ampliação da área de interesse até a escala aproximada de 1:100.000 utilizando o canal 5;

- 2) superposição automática das imagens MSS/LANDSAT através do uso do programa *Registro de Imagens*;
- 3) associação de filtros coloridos às diferentes imagens analisadas;
- 4) obtenção de composições coloridas multitemporais resultantes da superposição de pares de imagens e das três passagens simultaneamente;
- 5) identificação de áreas em que ocorreram modificações urbanas;
- 6) confecção de mapas indicativos das áreas de crescimento urbano;
- 7) realização de trabalho de campo auxiliado pelas composições coloridas.

Através do Programa *Registro de Imagens* superpõem-se automaticamente as imagens, obtidas em diferentes datas, a partir de transformações geométricas de modo que os elementos de imagens "pixels" tornem-se coincidentes.

As composições coloridas, resultantes da superposição de pares de imagens, foram obtidas a partir da associação de filtros coloridos onde se utilizou o filtro "cyan" (verde + azul) para a imagem de 1978 e o filtro vermelho para a imagem de 1984. No produto resultante as áreas alteradas aparecem em tons de vermelho ou "cyan", enquanto as áreas sem modificações apresentam-se em tons de cinza no canal 5 do MSS. As áreas associadas ao "cyan" representam alvos que na data-base eram áreas em tons de cinza-claro (áreas de loteamento ou solo exposto) e na data mais recente apresentaram tons de cinza-escuro (áreas de vegetação). As áreas de coloração vermelha são aquelas que, na data mais antiga, apresentaram ocupação urbana ou solo exposto. Estas áreas vermelhas evidenciam, portanto, áreas de crescimento urbano cuja identificação torna-se um processo relativamente fácil e rápido.

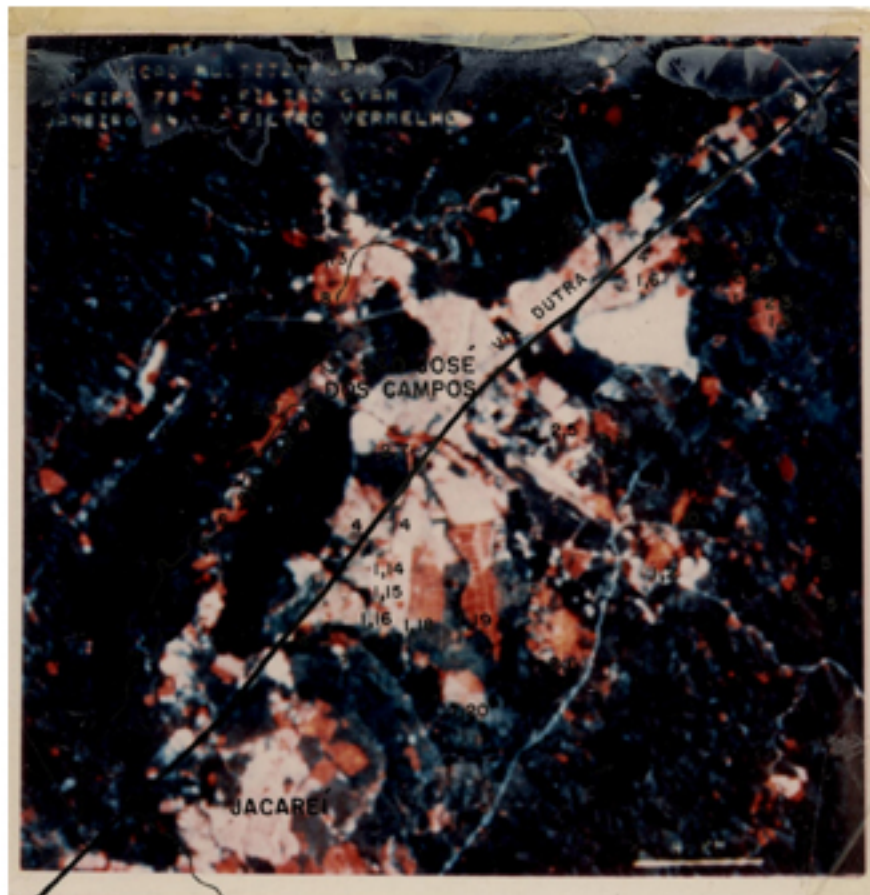
A composição colorida decorrente de superposição das três imagens simultaneamente foi obtida associando filtros azul, verde e vermelha às imagens cronologicamente sequenciadas. Na composição resultante, considerando as três passagens do satélite, as áreas sem alteração são apresentadas em tons de cinza, sendo que o cinza-claro corresponde à área urbanizada ou solo exposto nos três períodos. Por outro lado, as áreas que sofreram alterações apresentaram-se associadas às três cores primárias e secundárias, conforme a sequência de substituição de usos do solo responsáveis por diferenças na reflectância dos alvos. Por exemplo, a cor vermelha identifica áreas que nas cenas de 1978 e 1981 apresentavam cobertura vegetal e em 1984 tornaram-se urbanizadas ou com ocorrências de solo exposto. Já as áreas em amarelo, nesta composição, indicam áreas que eram em 1978 cobertas por vegetação e nas cenas de 1981 apresentavam-se urbanizadas e/ou com solo exposto. Assim, para verificar as áreas de crescimento urbano dirigiu-se o trabalho de campo para as áreas em vermelho (urbanizadas a partir da segunda passagem - 1981) e em amarelo (urbanizadas a partir da primeira passagem - 1978).

Informações mais detalhadas a respeito do processo de obtenção de composições coloridas multitemporais podem ser encontradas em Foresti et alii (1984).

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A superposição das imagens analisadas permitiu a verificação do crescimento urbano de São José dos Campos no período de 1978 a 1984, bem como sua distribuição espacial.

A Figura 1, resultado da superposição das imagens de 1978 e 1984, mostra o crescimento urbano da cidade durante o período de estudo. Nesta figura a área urbanizada nas duas datas apresenta-se em branco e as que urbanizaram neste período encontram-se associadas à cor vermelha. Isto significa que houve a substituição da vegetação por área construída.



LEGENDA:

1. Loteamento residencial.
2. Terraplenagem para loteamento.
3. Indústria.
4. Adensamento residencial
5. Loteamento de chácaras
6. Porto de areia.

OBS.: a classe 1 varia de 1.1 a 1.20 e a 2 de 2.1 a 2.9 de forma a identificar os loteamentos.

Fig.1 - Crescimento urbano de São José dos Campos através do registro de imagens MSS/LANDSAT de 1978 a 1984.

Nota-se que as áreas de solo exposto para loteamento e/ou instalação de indústrias e áreas de portos de areia apresentaram-se também na cor vermelha, pois significam também a substituição de áreas em tons de cinza-escuro para tons de cinza-claro.

A classificação das áreas alteradas nas diversas categorias, apresentadas na legenda da Figura 1, foi possível a partir da integração de informações obtidas nas imagens MSS/LANDSAT, dados de campo e dados cadastrados disponíveis na Prefeitura Municipal de São José dos Campos.

A maior parte das áreas alteradas corresponde a novos loteamentos indicados pelo número 1, na Figura 1, e relacionados na Tabela de mesmo número. Como exemplo podem-se citar Jardim São Leopoldo, Parque Santos Dumont e loteamento São Judas Tadeu no setor sudeste.

Pelo número 2 da Figura 1, observa-se uma tendência de futura expansão urbana no setor oeste e noroeste da cidade, através do surgimento de áreas terraplenadas para instalação de novos loteamentos como, por exemplo, o do Alto de Santana e o Urbanova. A Tabela 2 apresenta a relação das áreas terraplenadas para loteamentos.

A classe *adensamento residencial* corresponde ao aparecimento de novos domicílios em bairros já implantados. Na composição colorida, devido ao menor contraste entre as datas analisadas, essas áreas são representadas por pequenas manchas de vermelho-claro, correspondentes ao número 4 na legenda da Figura 1.

As áreas desmatadas para instalação de chácaras, representadas, na Figura 1 pelo número 5, só puderam ser diferenciadas dos loteamentos periféricos a partir da realização de trabalho de campo.

Evidenciam-se também pela análise da Figura 1 que extensas áreas que poderiam se confundir com novos loteamentos ou terraplenagem para este fim constituem áreas de extração de areia. Apesar de sua semelhança espectral com as áreas urbanizadas, sua localização ao longo do rio Paraíba é um indicador importante para a discriminação destas áreas.

TABELA 1

ÁREAS DE NOVOS LOTEAMENTOS DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (1978 a 1984)

NUMERO NA FIGURA 1	NOME	DATA DE APROVAÇÃO
1.1	Conjunto Residencial das Flores	1981
1.2	Jardim Santa Inês II	1980
1.3	Jardim Parangaba	1981
1.4	Jardim Nova Michigan	
1.5	Novo Horizonte	antes de 1980
1.6	Vista Verde II	1981
1.7	Jardim Souto	1981
1.8	Parque Residencial Flamboyant	1982
1.9	Parque Santos Dumont	não regularizado
1.10	Jardim São Leopoldo	1981
1.11	Conjunto EMHA - Empresa Municipal de habitação	1969
1.12	Loteamento São Judas Tadeu	1980
1.13	Jardim Guimarães	1981
1.14	Jardim Petrópolis	1981
1.15	Jardim Veneza	1980
1.16	Parque Independência	1981
1.17	Conjunto Residencial Morada do Sol	1981
1.18	Jardim Morumbi	1962
1.19	Bosque dos Eucaliptos	1962, 1974 e 1978
1.20	Conjunto da EMHA	1969

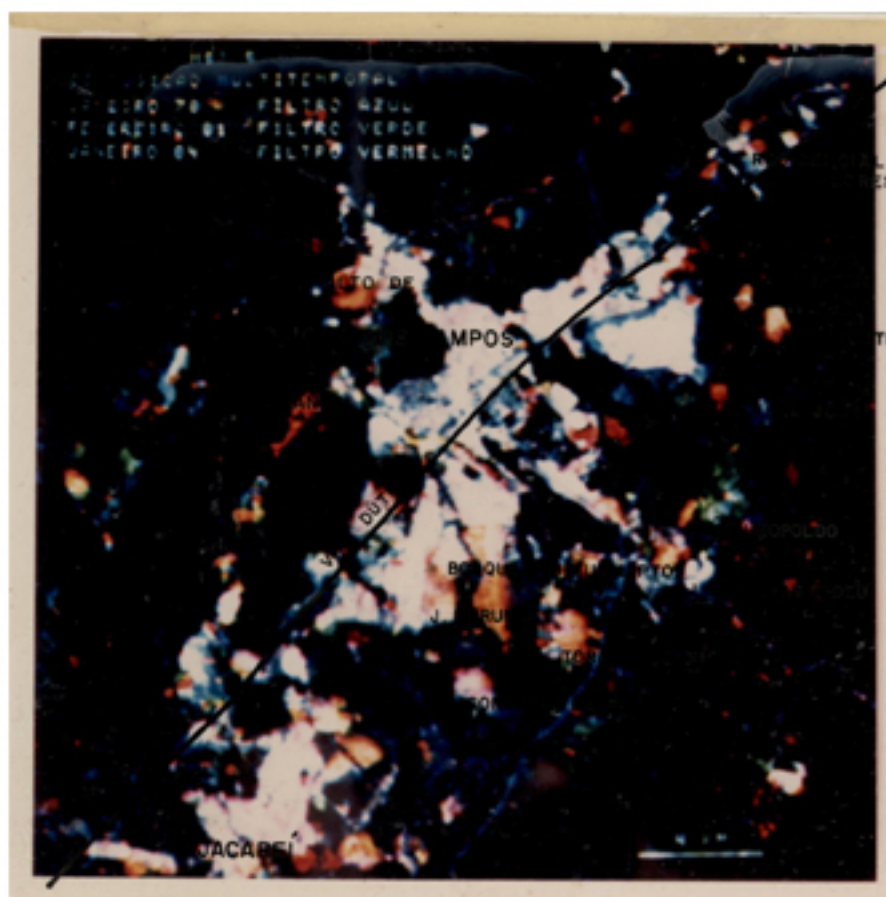


TABELA 2

ÁREAS TERRAPLENADAS PARA LOTEAMENTO EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (1978 a 1984)

NÚMERO NA FIGURA 1	NOME	DATA DE APROVAÇÃO
2.1	Jardim Itapõa	1984
2.2	Paraíso do Sol	1980
2.3	Jardim das Cerejeiras	1982
2.4	Jardim Alves Terra	1981
2.5	Jardim Colorado	1981
2.6	Jardim Torrão de Ouro	1981
2.7	Portal dos Ipês	1981
2.8	Alto de Santana	1982
2.9	Urbanova	1984

A composição colorida multitemporal resultante da superposição simultânea das imagens referentes a 1978, 1981 e 1984 pode ser vista na Figura 2.



LEGENDA:

- a) cor amarela: alterações no período de 1978 a 1981;
- b) cor vermelha: alterações no período de 1981 a 1984.

Fig. 2 - Crescimento urbano de São José dos Campos através do registro de imagens MSS/LANDSAT de 1978, 1981 e 1984.

Através da análise da composição da Figura 2 foi possível separar o crescimento ocorrido entre 1978 e 1984, em São José dos Campos, em sub-períodos (1978/1981 e 1981/1984). As áreas em vermelho na Figura 2 representam alterações no uso do solo e incluem as áreas de crescimento urbano no último período, enquanto as áreas em amarelo estão associadas às alterações ocorridas no primeiro período.

Assim, para o primeiro período tem-se, por exemplo, o surgimento das seguintes áreas: Jardim Morumbi, Novo Horizonte, Jardim Nova Michigan, Bosque dos Eucaliptos, Jardim São Leopoldo, Jardim São Judas Tadeu, enquanto para o período de 1981 a 1984 notam-se as terraplenagens para as áreas de loteamento: Torrão de Ouro, Urbanova, Alto de Santana, Campos de São José e os loteamentos: Conjunto Residencial das Flores e Conjunto da EMHA.

Em determinados casos, a tonalidade alaranjada associada a áreas alteradas significa a implantação no primeiro período e o adensamento no segundo período.

Na figura 2 as manchas em verde significam a passagem de um alvo do tom de cinza-escuro (1978) para o tom de cinza-claro (1981) e novamente para o tom de cinza-escuro (1984) como, por exemplo, a seguinte sucessão de uso do solo; vegetação, solo exposto e vegetação.

Através da análise das composições coloridas multitemporais, obtidas com a superposição das imagens de São José dos Campos, foi possível fazer uma avaliação geral das alterações sofridas pela estrutura espacial da cidade no período de 1978 a 1984.

A mancha em tons de cinza-claro nestas composições, que representa o tecido urbano até janeiro de 1978, mostra uma feição mais contínua em relação ao seu crescimento posterior, estendendo-se particularmente ao longo da Rodovia Presidente Dutra.

Foresti (1978), que realizou o monitoramento do crescimento urbano de São José dos Campos no período de 1972 a 1976, utilizando dados LANDSAT, embora com outra técnica de tratamento de dados, mostra a tendência da expansão urbana, especialmente seguindo eixo rodoviário Rio-São Paulo, a NE e SE de São José dos Campos.

As manchas em tons de vermelho nas composições coloridas multitemporais, identificadas no trabalho de campo como referentes a loteamentos e área preparada para novos loteamentos, mostram que o crescimento urbano da cidade neste período caracterizou-se, sobretudo, pelo surgimento de unidades fora do perímetro urbano. Mais especificamente, as áreas da Urbanova, Alto de Santana, Jardim Alves Terra, Jardim São Leopoldo, e os loteamentos São Judas Tadeu e Jardim Torrão de Ouro, surgiram, segundo informações coletadas na Prefeitura Municipal de São José dos Campos, fora do período urbano em área denominada expansão urbana.

Além disso, essas unidades e outras como Jardim Nova Michigan, Parque Novo Horizonte, Jardim Cerejeiras, embora dentro do perímetro urbano, surgem isoladas da cidade caracterizando um processo de ocupação descontínua do solo.

Esta composição fragmentada do tecido urbano, onerosa em função dos investimentos em obras de infra-estrutura, equipamentos coletivos e custeio de serviços, é decorrente, sob o ponto de vista técnico, de um fato comum na prática da administração municipal nas cidades brasileiras: a concepção de loteamentos como unidade de crescimento da cidade, que é visto como elemento isolado da trama urbana, tanto no seu planejamento quanto na sua aprovação legal. Sob o ponto de vista legal, ela decorre do fato de a legislação sobre os loteamentos em São José dos Campos, como de modo geral nas cidades brasileiras, não atuar sobre a questão da estruturação do tecido urbano. Os seus requisitos urbanísticos, conforme podem ser examinados nas leis municipais 1576 de 25.09.70 (São José dos Campos, s.d), 2.263 de 04.01.80 (São José dos Campos, 1983) e 2492 de 20.07.81 (São José dos Campos, 1983) para loteamentos especiais da Prefeitura Municipal de São José dos Campos (1970, 1983), referem-se a especificações internas dos loteamentos.

Além disso, as leis que regulam os limites das áreas de expansão urbana têm facilitado a incorporação de grandes propriedades rurais dentro de seus limites, incentivando, pela possibilidade de ganhos de renda fundiária permitidos, o surgimento de novos empreendimentos imobiliários na periferia, concretamente rural.

Outro fator que parece ter tido implicações na consolidação da ocupação descontínua do solo urbano do município de São José dos Campos consiste no fato de a aprovação do loteamento ser de competência do Prefeito Municipal que, embora normalmente assessorado por pareceres técnicos do setor de planejamento urbano, pode dispensar esta assessoria, desvinculando completamente o processo de loteamento do processo de planejamento urbano e vinculando-o a outros interesses.

Através da análise das composições coloridas multitemporais outra característica da estrutura espacial de São José dos Campos, que tem se desenvolvido nos últimos anos, consiste no parcelamento do solo rural para pequenas chácaras de recreio, as quais têm-se multiplicado nos últimos anos.

#### 4. CONCLUSÕES

A técnica de registro de imagens associada ao uso de filtros adequados mostrou um instrumental útil, para o fornecimento de informações relativas às tendências de crescimento urbano, consideradas nas suas dimensões espaciais e temporais, em cidades espontâneas como é o caso de São José dos Campos. Além disto, foi útil, também no direcionamento do trabalho de campo para pontos específicos da área de interesse. Este fato para São José dos Campos foi real, sobretudo com relação à identificação de grandes áreas de alterações de uso do solo, com áreas de loteamento e, áreas de terraplenagem para loteamentos e/ou indústrias, o que permitiu uma avaliação das alterações estruturais do espaço urbano de São José dos Campos.

Comparativamente aos resultados da aplicação da técnica de registro de imagens para o estudo do crescimento urbano de Brasília, pôde-se observar que a verificação das alterações pontuais foi dificultada pela organização espontânea de São José dos Campos.

Enquanto em Brasília cada função urbana tem seu espaço definido, o que facilita a identificação das alterações ocorridas mesmo somente através da imagem, em São José dos Campos a localização espontânea na estrutura urbana de adensamento residenciais, novos loteamentos, terraplenagem para loteamentos e terraplenagem para indústrias dificulta o processo de identificação utilizando apenas este instrumental. Assim, a composição colorida multitemporal torna-se sobretudo um instrumento facilitador do trabalho de campo, principalmente para as cidades não-planejadas.

De qualquer modo, o sensoriamento remoto orbital e o programa *Registro de Imagens* mostraram-se adequados para o monitoramento da dinâmica do crescimento urbano, técnicas estas não superadas por nenhum outro meio.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FORESTI, C. *Estimativas Populacionais e de crescimento de áreas urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1978 (INPE-1298-TPT/095).

FORESTI, C.; OLIVEIRA, M.L.N.; NIERO, M.; LIMA, C.M.B.; PARREIRAS, E. M.M.F. The use of image registration technique in Brasília's urban growth monitoring. International Symposium on Remote Sensing of Environment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8, Paris, oct., 1984. *SUMMARIES*, Paris. Centre National D'Études Spatiales, 1984, p. 52.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico do Estado de São Paulo*. Recenseamento Geral do Brasil, 1950. Rio de Janeiro, 1954. v. 25, T.1.

\_\_\_\_\_ Sinopse Preliminar do Censo Demográfico, Recenseamento Geral, 1960. Rio de Janeiro, 1962.

\_\_\_\_\_ Censo Demográfico do Estado de São Paulo, Recenseamento Geral, 1970, Rio de Janeiro, 1973. v. 1, T.18, p. 3.

\_\_\_\_\_ Sinopse Preliminar do Censo Demográfico - Brasil, IX Recenseamento Geral, 1980. Rio de Janeiro, 1981.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Lei nº 1576 de 25 de setembro de 1970; Dispõe sobre o loteamento urbano, a abertura e o prolongamento do sistema viário, em qualquer das zonas do município. *Código de Edificações*. Prefeitura Municipal de São José dos Campos, s.d., p. 51.

\_\_\_\_\_ Lei nº 2263 de 04 de janeiro de 1980; Dispõe sobre o parcelamento e a ocupação do solo do município e dá outras providências. *Código de Obras e Zoneamento*. EDITEC, São Paulo, 1983. Cap. II, Artigo 3º, p.20.

\_\_\_\_\_ Lei nº 2492 de 20 de julho de 1981; Dispõe sobre loteamentos especiais. *Código de Obras - Zoneamento*. EDITEC, São Paulo, 1983. Artigo 1º, Condição II, par. II, p.44.

OLIVEIRA, M.L.N.; FORESTI, C.; NIERO, M.; PARREIRAS, E.M.M.F. *Aplicações de dados dos satélites LANDSAT no estudo da evolução urbana de Brasília*. São José dos Campos, INPE, abril, 1984 (INPE-3063 PRE/480).