

MONITORAMENTO DA EXPANSÃO URBANA, UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO – ESTUDO DE CASO

ISABELLA MORETTI DE OLIVEIRA

SANDRA M. FONSECA DA COSTA

UNIVAP- Universidade do Vale do Paraíba

Av. Shishima Hifumi, 2911, 12244-000, São José dos Campos, SP, Brasil

{isabella, sandra}@univap.br

Abstract: The city of São José dos Campos, located in the of São Paulo, it was , and it continues being, marked by an intense industrialization, which started to command the growth of the municipal district after the decade of 50. The intensification of the industrial growth process, in the decade of 70, caused many spatial transformations. In this sense, this research detected and evaluated the changes happened to the urban space of the city of São José dos Campos, defining the main growth axes , between 1977 and 1997, period of great urban growth of the city, using remote sensing data and techniques, as subsidy to the urban planning. It has also been elaborated a comparison and analysis of the potential use for urban area delimitation of the remote sensing data.

1 – Introdução

A intensificação do processo de crescimento industrial, verificado na cidade de São José dos Campos, na década de 70, causou muitas transformações espaciais, decisivas no processo de reestruturação da mancha urbana. Entre estas, o crescimento da mancha urbana foi responsável por novos eixos de crescimento, sem que o governo local conseguisse estabelecer uma ordem que organizasse a ocupação.

O processo de desenvolvimento urbano ocorrendo de forma não controlada tende a comprometer o desenvolvimento econômico. Assim o controle deste processo procura orientar permanentemente a ação, tendo em vista a melhoria do desenvolvimento urbano e sócio- econômico (Zahn,1983).

Forster (1994) afirma que o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e bastante eficiente para avaliar o processo de crescimento do espaço urbano. Esta técnica, aliada a outras tecnologias, fornece a possibilidade de monitorar, além do crescimento urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana.

Neste sentido, esta pesquisa pretendeu detectar e avaliar as mudanças ocorridas na mancha urbana da cidade de São José dos Campos, utilizando dados e técnicas de sensoriamento remoto, entre o período de 1977 a 1997.

Buscou também demonstrar, através da comparação das análises espaciais dos diferentes produtos de sensoriamento remoto, a eficiência e utilidade das imagens de satélite principalmente no que se refere ao monitoramento do crescimento e da expansão urbana.

2 – Município de São José dos Campos

O município de São José dos Campos está localizado na porção leste do Estado de São Paulo, na Região do Vale do Paraíba, limitado pelas coordenadas 22°47'30" a 23°20'00" de latitude sul e 45°41'15" a 45°52'30" de longitude WGr. Possui uma área de 1.118Km², sendo que 243 Km² em áreas urbanas (**figura 2.1**).

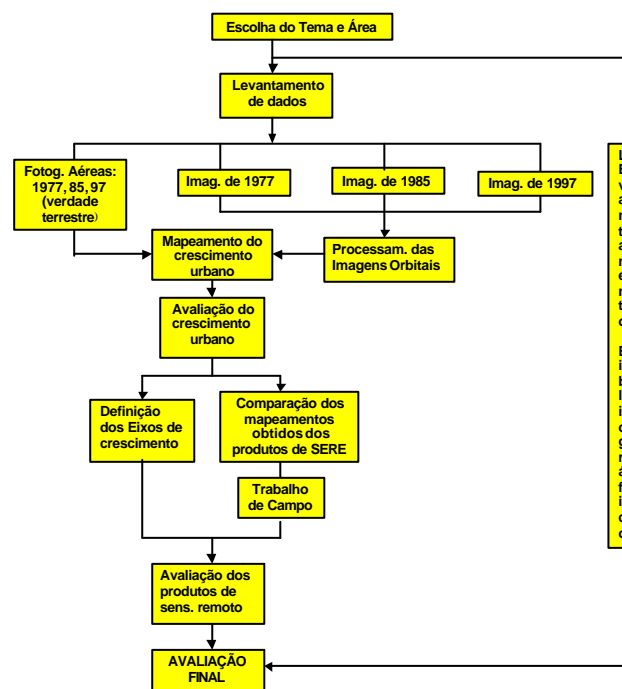
É, atualmente, o município de maior destaque e influência na região. Destacam-se as indústrias de bens de consumo duráveis e de capital, favorecidas, principalmente, pela localização entre os dois maiores centros urbanos-industriais do País, SP e RJ (IPT,1996).



Figura 2.1: Localização da Área de Estudo

3 – Metodologia

A metodologia utilizada neste estudo seguiu o fluxograma de atividades apresentado na **figura 3.1**. Os principais passos da pesquisa são detalhados a seguir



3.1– Processamento das imagens de satélite

O processamento das imagens de sensoriamento remoto LANDSAT/MSS e TM e PAN-SPOT, para os anos de 1977, 1985 e 1997 respectivamente , foi realizado através do programa desenvolvido pela ERDAS Corporation, o Imagine Production

A primeira etapa foi a realização do pré-processamento, através do correção geométrica e registro sobre as imagens brutas. De acordo com Crosta (1992), a correção geométrica conferiu `a imagem precisão cartográfica, segundo algum sistema de coordenadas geométricas. Foi utilizado o modelo polinomial para corrigir as distorções geométricas (**figura 3.2**).

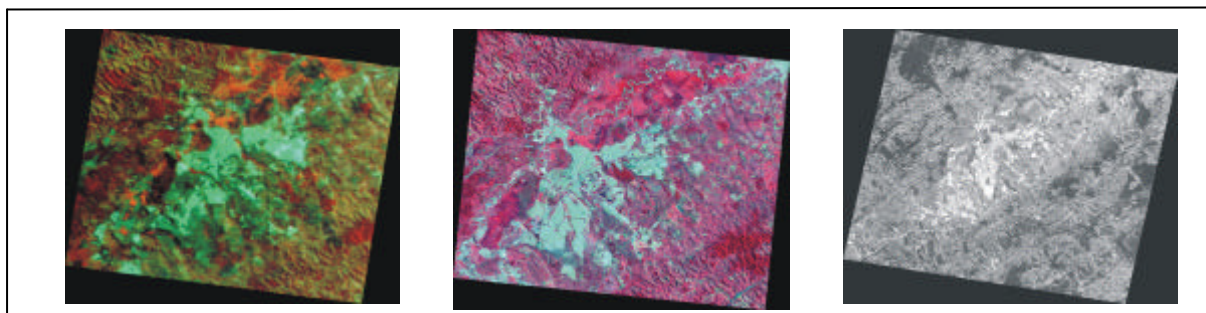


Fig. 3.2: Imagens registrada, respectivamente: MSS-1977; TM-1985; PAN-SPOT-1997.

Para definir uma exatidão na delimitação da área urbana foi feita uma interpretação visual em tela nas imagens considerando-se as áreas urbanas. A partir da técnica de AOI (área de interesse), do programa ERDAS-IMAGINE, que permite a digitalização de polígonos na imagem reconheceu-se a área urbanizada em cada uma das imagens o que facilitou o processo de classificação, e a exatidão de seus resultados. Ver exemplo (**Figura 3.3**).

As três imagens resultantes do processo de delimitação da área urbana foram classificadas utilizando a classificação por Máxima Verossimilhança. Foram selecionadas duas classes: urbano e não-urbano. Como pode ser observado na classificação da imagem LANDSAT/TM **figura 3.4**.



Fig.3.3: Delimitação da mancha urbana:TM-85 **Fig. 3.4: Imagens classificadas TM-85**

3.2 - Interpretação das fotografias aéreas: Mapeamento do Crescimento Urbano.

As fotografias aéreas para os anos de 1977, 1985 e 1997 que se encontravam respectivamente nas escala 1:8000, 1:25000 e 1:10000 foram interpretadas, extraindo-se dos estéreo pares das fotografias aéreas com a utilização de overlay o contorno da mancha urbana. Esse material foi armazenado no sistema SGI/INPE, resultando em figuras representando a mancha urbana referente as três datas. Estes foram transferidos para o SPRING (Sistema de Informações Geográficas, de 2 geração desenvolvido pelo INPE) onde se realizou a análise espacial dos mapeamentos.

3.3 - Avaliação do crescimento urbano

A partir do mapeamento da mancha urbana através das fotografias aéreas das três datas foi realizada uma análise do crescimento espacial da área urbana entre o período de 1977 e 1997. Utilizando o programa-SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), obteve-se os valores das áreas urbanas representadas nos mapas, podendo-se assim realizar uma avaliação quantitativa da expansão da mancha urbana da cidade durante o período analisado.

3.4 - Definição do eixos de crescimento urbano

Foram geradas a partir dos mapeamentos obtidos das fotografias aéreas, duas figuras identificando as áreas de expansão entre os três períodos, identificando respectivamente as áreas de expansão entre 1977 e 1985 e 1985 e 1997, buscando através desta representação espacial facilitar a análise dos principais eixos de crescimento.

3.5 - Comparação dos mapeamentos da mancha urbana obtidos dos diferentes produtos de sensoriamento remoto.

Os mapeamentos da mancha urbana, obtidos a partir das fotografias aéreas e das imagens de satélite, foram comparados de duas formas: através da estatística kappa, que é uma medida de concordância entre classificações, e através da quantificação do crescimento, ou seja, comparando os valores das áreas obtidos com as fotografias aéreas com os obtidos das imagens.

Segundo Fleiss (1981), o cálculo da estatística Kappa considera a ordenação de dados, este índice é calculado pela seguinte fórmula:

$$Kappa = \frac{d - q}{N - q}$$

onde: d = soma dos elementos da diagonal (A ,B e C)
N = número total de amostras conferidas em campo
Q = número de casos pela chance de ocorrerem

3.6 - Avaliação dos Produtos de Sensoriamento remoto

A avaliação dos produtos de sensoriamento remoto teve como objetivo determinar a precisão dos resultados obtidos em análises urbanas através de imagens de satélite LANDSAT/MSS e TM, utilizadas.

4- Resultados e discussões

4.1 – Avaliação do crescimento urbano

Os mapeamentos da mancha urbana de São José dos Campos, para os anos de 1977, 1985 e 1997, extraídos das fotografias aéreas foram processados de acordo com a metodologia utilizada para a interpretação de fotografias aéreas (**figuras 4.1, 4.2, 4.3**). A análise espacial dos mapeamentos determinou os valores da mancha urbana em Km²., como pode ser visto na **tabela 4.1**.

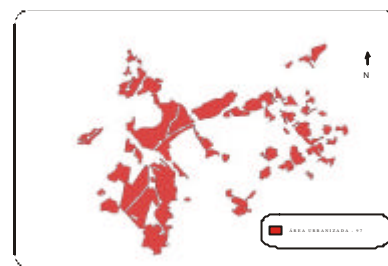
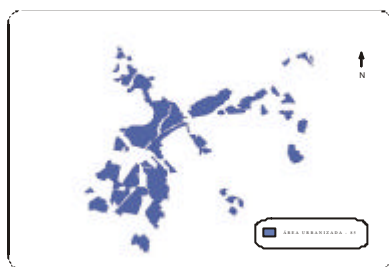
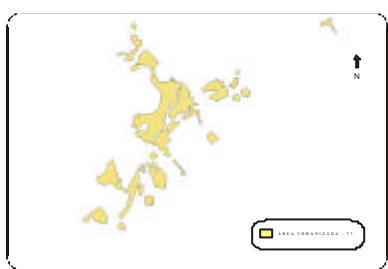


Fig. 4.1: Mancha urbana-1977

Fig. 4.2: M. urbana-1985

Fig. 4.3 M. urbana-1997

Tabela 4.1: crescimento da área urbana de São José dos Campos 77 à 97:

Ano	Área urbana (km ²)	Incremento na área urbana (km ²)	Taxa de crescim. da área urbana
1977	23.67074	-----	-----
1985	38.49460	14.8239	62.6 %
1997	55.57378	17.0791	44.3 %

Fonte: Fotografias aéreas de São José dos Campos para os anos de 1977, 1985, 1997.

Analisando os resultados extraídos das fotografias aéreas, pode-se notar que o incremento da área urbana entre os dois períodos foi semelhante, destacando que o primeiro período analisado (77 à 85) é de 8 anos e o segundo (85 à 97) de 12 anos. A partir disso, conclui-se que a cidade de São José dos Campos teve um grande crescimento urbano nas últimas décadas, tendo aumentado cerca de 134,8% sua área urbana. Este crescimento corresponde ao período de maior expansão industrial ocorrido na cidade, confirmando Zahn (1983), o qual defende a estreita relação entre a industrialização e o processo de urbanização.

O crescimento foi mais intenso no primeiro período quando a cidade cresceu cerca de 62,6%, enquanto que no segundo período, mais longo o crescimento da área urbana da cidade ficou em torno de 44,3%, que pode ser explicado pelas sucessivas crises econômicas atravessadas pelo país na década de 80 que colocaram um freio no crescimento da indústria nacional resultando numa diminuição do crescimento de cidades como São José dos Campos de economia industrial. Além disso intensificando-se neste período, o crescimento vertical na cidade.

4.2 – Definição dos eixos de crescimento

Numa avaliação visual dos mapeamentos da expansão urbana (Fig. 4.4 e 4.5) nota-se que a cidade teve um crescimento fragmentado não apresentando uma uniformidade na ocupação do espaço. Este fato pode ser explicado por características naturais e artificiais que influem de forma decisiva nas possibilidades da expansão da área urbana do município.

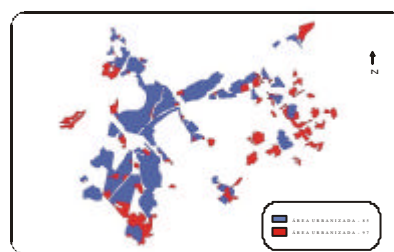
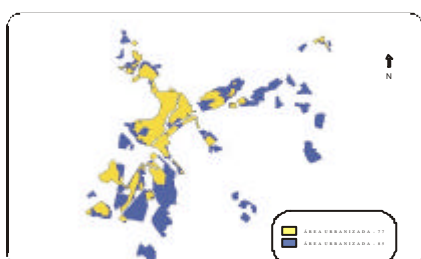


Fig. 5.4: Expansão urbana: 1977/1985

Fig. 5.5: Expansão urbana: 1985/1997

Na análise visual do mapa da área urbanizada de 1977 à 1985, observa-se que o crescimento urbano foi mais intenso em direção à região sul. Este crescimento foi incentivado pela lei de zoneamento proposta em 1980, que especificou aquela área como zona residencial unifamiliar, dando impulso à continuação do loteamento Jardim Satélite e à implantação do Bosque dos eucaliptos.

Nesse mesmo período, observa-se uma intensificação na ocupação urbana da região leste, onde se nota a implantação de loteamentos dispersos, criando um grande número de vazios urbanos. Muitos desses loteamentos resultaram da ocupação pela Petrobrás de grande área de expansão urbana, que ocasionou uma ocupação desordenada nessa região.

No período de 1985 e 1997, verifica-se uma diminuição no crescimento da mancha urbana, devido à crise econômica dos anos 80 e por um crescimento urbano vertical maior que horizontal. Os principais eixos de crescimento urbano durante esse período continuam ocorrendo nos setores leste e sul da cidade, onde muitos assentamentos clandestinos surgiram, principalmente na região leste e norte, na forma de chácaras de recreio, que na realidade eram divididos em loteamentos. A Lei de Zoneamento, aprovada em 1990, definiu grande parte da área leste e sudeste como “macrozona de expansão urbana”, a qual, associada ao baixo preço das terras, motivou o crescimento para aquela direção. A última lei de zoneamento, publicada em 1997, tentou corrigir essas falhas.

4.3- Comparação dos resultados dos mapeamentos

De acordo com a metodologia, o mapeamento da mancha urbana obtido das fotografias aéreas e a obtida por técnicas de processamento digital das imagens de satélite foram comparados de duas formas: Quantificação das áreas e Estatística Kappa.

A comparação da quantificação do crescimento entre os produtos de sensoriamento remoto foi realizada utilizando os valores das áreas urbanas em Km².

Os valores em Km² da área urbana das imagens de satélite, foram obtidos através do programa ERDAS-IMAGINE. Com esses dados, foi possível realizar uma comparação das fontes de análise de crescimento através da comparação dos valores obtidos das áreas da mancha urbana para as datas analisadas, como mostra a **tabela 4.2**.

Tabela 4.2: Comparação das fontes de análise do crescimento da área urbana de São José dos Campos 77 à 97.

Ano	Produto	Área (Km ²)	Diferença (%)
1977	Fotografia aérea	23.67074	12.5
	Imagem de satélite	26.61269	
1985	Fotografia aérea	38.49460	10,0
	Imagem de satélite	42.36902	
1997	Fotografia aérea	55.57378	1,2
	Imagem de satélite	54.90892	

Com a comparação dos resultados, observa-se que a diferença nos resultados entre as duas fontes de análise não excedeu a 12%, destacando-se o resultado da análise dos produtos de 1997, que tiveram uma diferença praticamente insignificante no que se refere a estudos de extensas áreas urbanas.

Nesta análise não é considerada a forma, apenas a extensão total da área da mancha urbana, portanto não pode revelar erros pontuais entre as interpretações de ambos os produtos. Afirmando a utilidade da comparação com a estatística Kappa.

Com a utilização da Estatística Kappa, foram cruzados os resultados dos mapeamentos da mancha urbana obtidos das fotografias aéreas (verdade terrestre), com o resultado da classificação dos dados digitais obtidos das imagens de satélite, para se determinar a concordância entre elas, Gerando-se uma matriz de similaridade entre eles.

Considerando a fórmula para o cálculo da estatística Kappa e para a geração da matriz de similaridade definida para cada imagem classificada, obtiveram-se os seguintes índices Kappa:

- **Imagem LANDSATMSS-1977:** Kappa = 0,67 67%
- **Imagem LANDSAT/TM-1985:** Kappa = 0,93 93%
- **Imagem PAN-SPOT-1997:** Kappa = 1,0 100%

A imagem MSS, apesar de apresentar resultados inferiores ainda esta dentro dos parâmetros considerados de boa qualidade na classificação das áreas urbanas. Este resultado comprova a eficiência da utilização de imagens de satélite no monitoramento do crescimento urbano, mostrando-se como alternativa de menor custo que as fotografias aéreas no caso da inexistência desta para análises multitemporais.

4.4 - Avaliação da potencialidade dos produtos de Sensoriamento Remoto

As maiores dificuldade na identificação da mancha urbana foram encontradas com a imagem MSS, a resolução espacial proveniente desta sensor não permitiu o mapeamento seguro das áreas urbanas, gerando dúvidas de caráter espacial dos alvos presentes na imagem. A falta de atributos espaciais e texturais no produto MSS não possibilitou a identificação de rodovias e ruas, elementos essenciais na classificação de uma imagem. A deficiência nos padrões espectrais e texturais comprometeram ainda a identificação exata dos limites urbanos da imagem.

O que foi comprovado com a avaliação das comparações entre os mapeamentos obtidos das fotografias aéreas e das imagens de satélite, que tiveram valores inferiores nas análises da imagem MSS se comparadas as da imagem TM, em torno de 10% na comparação quantitativa e de 30% na comparação feita através da Estatística Kappa.

Os resultados obtidos com a imagem LANDSAT/TM foram bastante superiores aos produtos LANDSAT/MSS para o mapeamento da mancha urbana, apresentando boa discriminação entre áreas urbanas e seu entorno, fornecendo também um contraste maior entre os diversos alvos encontrados em seu interior, devido a melhor resolução espacial e espectral

Cabe salientar que apesar da superioridade dos resultados obtidos da imagem LANDSAT/TM em relação a LANDSAT/MSS, os resultados obtidos na comparação dos produtos de sensoriamento constataram a qualidade dos mapeamentos relativos a imagem MSS, reforçando a sua aplicabilidade em análises urbanas multitemporais, que necessitem de imagens de satélite para o período entre 1975 e a 1982, quando este sensor era utilizado no satélite LANDSAT.

5- Considerações finais

No sentido de avaliar as mudanças na mancha urbana do município de São José dos Campos no período de grande crescimento urbano em função do intenso processo de industrialização (1977 a 1997), foi realizada a detecção do crescimento urbano para o período, utilizando-se produtos de sensoriamento remoto de três datas.

A utilização de produtos orbitais de sensoriamento remoto mostrou-se eficiente neste trabalho de monitoramento do crescimento urbano, comprovado pelos resultados obtidos na comparação destes com a “verdade terrestre”, afirmando assim a sua utilidade como instrumento de estudo do espaço urbano. As dificuldades encontradas na análise das imagens de satélite se mostraram principalmente no processo de classificação destas, devido a heterogeneidade do ambiente urbano e ao comportamento espectral de alguns alvos da natureza serem muito semelhantes aos existentes em áreas urbanas.

A alternativa encontrada para a classificação, na delimitação da mancha urbana apresentou um bom resultado determinando com mais precisão a área urbanizada. Sendo uma opção a mais auxiliando no processo de discriminação do urbano em imagens de satélite.

Os resultados obtidos a partir da avaliação da imagem LANDSAT/MSS, apesar de inferiores aos obtidos com os sensores mais recentes podem subsidiar estudos de monitoramento do crescimento urbano, na ausência de outros produtos orbitais levando-se em consideração o índice de erro aceitável (70%). Demonstrando assim a viabilidade da utilização de produtos MSS em “análises do crescimento urbano do ponto de vista longitudinal, ou seja, temporal, pois é necessário ter uma visão prospectiva da evolução dos problemas, das tendências de crescimento e suas direções , com o propósito de poder planejar a ocupação do espaço” (Foster,1985)

Nesse sentido a avaliação do crescimento urbano no período analisado determinou a influência do processo de industrialização ocorrido na cidade sobre a urbanização, comprovado pelo expressivo crescimento urbano entre 1977 e 1985, no qual ocorreu o surgimento de várias indústrias, que aliada as políticas públicas de organização do espaço urbano determinaram a estruturação da mancha urbana.

6 – Referências

CROSTA, Alvaro P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*.

Campinas, SP.: IG/UNICAMP, 1992

FORSTER, B.C. *An examination of some problems and solutions in urban monitoring from satellite platforms*. International Journal of Remote Sensing, 6(1): pp.139-151, 1985.

ZAHN, C. E. *O processo de urbanização: características e evolução*. In: Bruna, G. (org). *Questões de organização do espaço regional*. São Paulo: Nobel, 1983.