

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE SÃO PAULO, ATRAVÉS DA
ANÁLISE VISUAL E AUTOMÁTICA DOS DADOS

Celina Foresti
Madalena Niero

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
12.200 - São José dos Campos, SP, Brasil

Miguel César Sanchez

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

RESUMO

O objetivo deste estudo é estimar a taxa de crescimento da área metropolitana de São Paulo, a partir de 1973, utilizando-se dos dados do sistema LANDSAT, analisados através de interpretação visual e automática. A análise visual foi realizada em imagens MSS do canal 5 do LANDSAT, na escala 1:250.000, para os anos de 1973, 1975 e 1977. Na interpretação automática, utilizou-se a opção de classificação "Máxima Verossimilhança", disponível no sistema IMAGE-100. A viabilidade de utilização de dados do sistema LANDSAT é ressaltada, neste tipo de estudo, para regiões que estão apresentando intenso processo de urbanização, como é o caso da área metropolitana de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A área metropolitana constitui um tipo especial de organismo urbano não apenas por sua dimensão, mas também pela difusão dinâmica de suas atividades e funções, independentemente de sua continuidade geográfica [1].

A expansão da metrópole se verifica, em geral, através de processos muito diversificados, funcionando alternadamente ou simultaneamente. A expansão por aglutinação, processo mais comum de crescimento horizontal de cidades, se associa à expansão por desdobramento, que produz uma proliferação de pequenos núcleos fora da cidade propriamente dita [2].

O objetivo deste trabalho é estimar a expansão da mancha urbana contínua da área metropolitana de São Paulo a partir de 1973, através da utilização de dados do sistema LANDSAT.

A área metropolitana de São Paulo, escolhida como área de estudo, localiza-se aproximadamente entre 23^o 00 e 24^o 00 de latitude sul e 46^o 00 e 47^o 00 de longitude oeste. Situa-se na Bacia sedimentar de São Paulo, compartimento restrito e individualizado do Planalto Atlântico Brasileiro [3].

As características fisiográficas apresentadas pelo sítio urbano de São Paulo, condicionaram o crescimento da área urbanizada a determinadas faixas. Por exemplo, a faixa central inclui 90% da área urbanizada da metrópole, por apresentar condições mais favoráveis à urbanização.

Neste trabalho são analisadas as novas áreas incorporadas ao tecido urbano da área metropolitana de São Paulo nos seguintes anos: 1973, 1975, 1977 e 1978. Assim, poderão ser determinadas as tendências do crescimento urbano para as diferentes épocas estudadas.

Os resultados aqui apresentados são considerados preliminares, uma vez que constituem uma primeira fase da análise do problema, necessitando de uma verificação de campo mais detalhada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No decorrer da pesquisa foram analisadas as informações obtidas a partir de técnicas visuais e automáticas de interpretação de dados.

Na interpretação visual dos dados foram utilizadas as imagens LANDSAT com as seguintes características:

- a) órbita e ponto: 164/28;
- b) escala: 1:250.000;
- c) canais: 5 e 7;
- d) datas de passagem: 11/07/73; 30/07/73; 27/05/75; 24/02/77 e 05/04/78.

Foram utilizadas duas passagens do ano de 1973 para solucionar o problema de cobertura de nuvens.

Para a delimitação da mancha urbana contínua foi utilizado o canal 5 e, confeccionados "overlays" para os quatro períodos estudados. Os rios e corpos d'água, que serviriam como pontos de referência na análise sequencial dos dados urbanos, foram identificados através do canal 7.

O melhor período para a delimitação da área urbana é o chuvoso, devido à ocorrência de maior contraste entre a vegetação e a área urbana [4]. No presente trabalho, entretanto, não foi possível a utilização de imagens do período chuvoso para todos os anos analisados devido ao problema de cobertura de nuvens.

A interpretação visual das imagens LANDSAT evidenciou que os limites da metrópole são extremamente imprecisos. A própria área de edificação contínua apresenta, em geral, um contorno demasiadamente irregular, cheio de reentrâncias e saliências, com loteamentos não ocupados ou em fase inicial de ocupação. Além disso, em razão da multiplicidade de processos em que se deu a expansão metropolitana, a área de edificação contínua se vê comumente circundada por uma constelação de pequenos ou grandes fragmentos da área edificada [2].

A seguir fez-se o cálculo da área urbana delimitada nos diferentes períodos, através da técnica de contagem em grade milimetrada.

A classificação automática dos dados foi realizada no Analisador Automático de Imagens Multiespectrais I-100, através da utilização de fitas compatíveis com computador, referentes a 5 de abril de 1978. Este período foi selecionado para um primeiro teste de interpretação automática, nesta área.

No processo de classificação automática, inicialmente, foi obtido, no vídeo do IMAGE-100, a imagem que contém a área de estudo. A seguir, a área urbana de São Paulo foi ampliada até a escala aproximada de 1:250.000.

Pesquisas realizadas anteriormente mostraram a viabilidade de utilização da escala 1:50.000, na análise automática dos dados LANDSAT, para estudos urbanos [5]. Neste trabalho houve a impossibilidade de maior ampliação dos dados, devido à grande extensão da área de estudo que ultrapassaria o tamanho da tela do sistema I-100.

As amostras necessárias para a classificação dos dados foram selecionados de modo a serem representativas da área analisada. No processo de seleção de amostras foram utilizadas cartas pré-existent da área de estudo.

A classificação automática foi feita, utilizando-se a opção "Máxima Verossimilhança", implementada no sistema I-100. As seguintes classes foram levantadas:

- Corpos d'água;
- Mata;
- Parques;
- Centro;
- Urbana 1;
- Urbana 2;
- Urbana 3;
- Loteamentos.

A classe corpos d'água corresponde às represas Billings e Guarapiranga existentes na região. À classe mata estão associados resquícios de vegetação primária que ocorrem na Serra da Cantareira. Foram consideradas como classe parques, as áreas verdes intra-urbanas.

A categoria área urbana foi subdividida por apresentar grandes diferenças internas em sua resposta espectral.

A classe centro corresponde à parte mais antiga da cidade com elevado crescimento vertical.

Foi considerada como classe urbana 1 a área contígua ao centro.

A classe urbana 2 corresponde à área residencial unifamiliar de renda econômica alta [2]. Esta classe está representada pelo bairro Jardim Paulista.

Embora as classes de interesse fossem apenas as urbanas, foi necessária a determinação de outras classes que compõem a imagem da área de estudo. Isto se explica pelo fato do programa utilizado classificar todos os pontos da imagem. Os pontos são classificados dentro da classe para a qual apresenta maior similaridade espectral. Assim, quanto maior o número de classes analisadas, maior é a precisão das classes analisadas.

A seguir as classes: centro, área urbana 1, 2 e 3 e loteamentos foram reagrupadas em uma única classe, para se obter um mapa da área urbanizada em estudo.

O cálculo da área urbanizada, contida no mapa obtido a partir da interpretação automática, foi feito utilizando-se o programa *Cálculo de Área*, disponível no sistema I-100.

A escala utilizada na análise automática dos dados (1:250.000) apresentou problemas classificatórios, quando se analisaram os anos 1973, 1975 e 1977 para um estudo comparativo dos dados. Pesquisas posteriores analisarão a área de estudo dividida em módulos na escala aproximada de 1:100.000.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS LANDSAT

Os mapas da mancha urbana contínua da área metropolitana de São Paulo, obtidos a partir da interpretação visual de imagens LANDSAT, podem ser vistos nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Pela análise dos mapas, pode-se notar que o crescimento urbano se deu ao longo das vias de ligação externa. De 1973 a 1975, houve expansão no setor oeste da área em direção à Rodovia Castelo Branco, com o surgimento de núcleos de expansão urbana e áreas terraplenadas próximas a Carapicuíba.

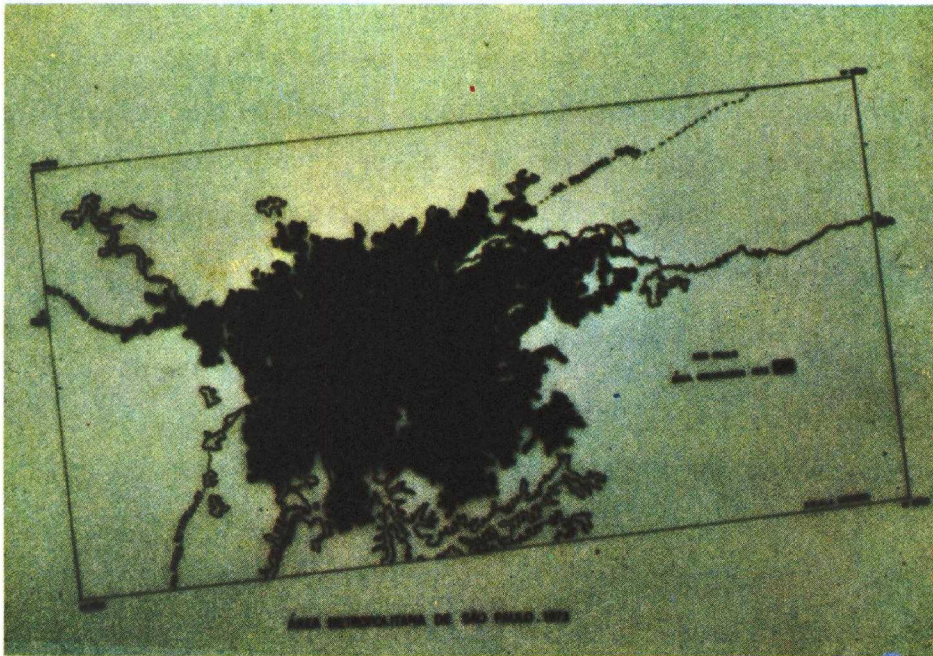


Fig. 1 - Mancha urbana contínua da Grande Sao Paulo (1973)

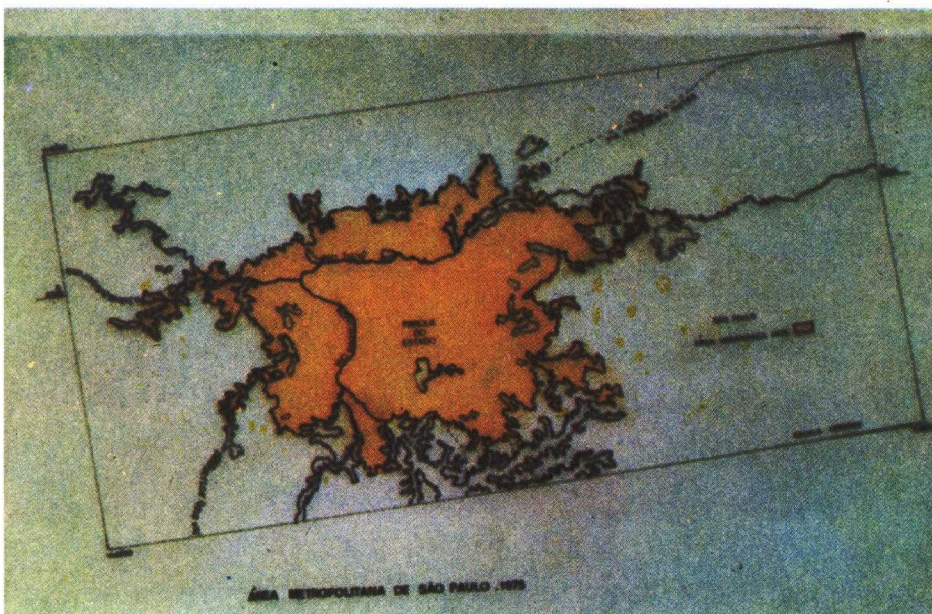


Fig. 2 - Mancha urbana contínua da Grande São Paulo (1975)

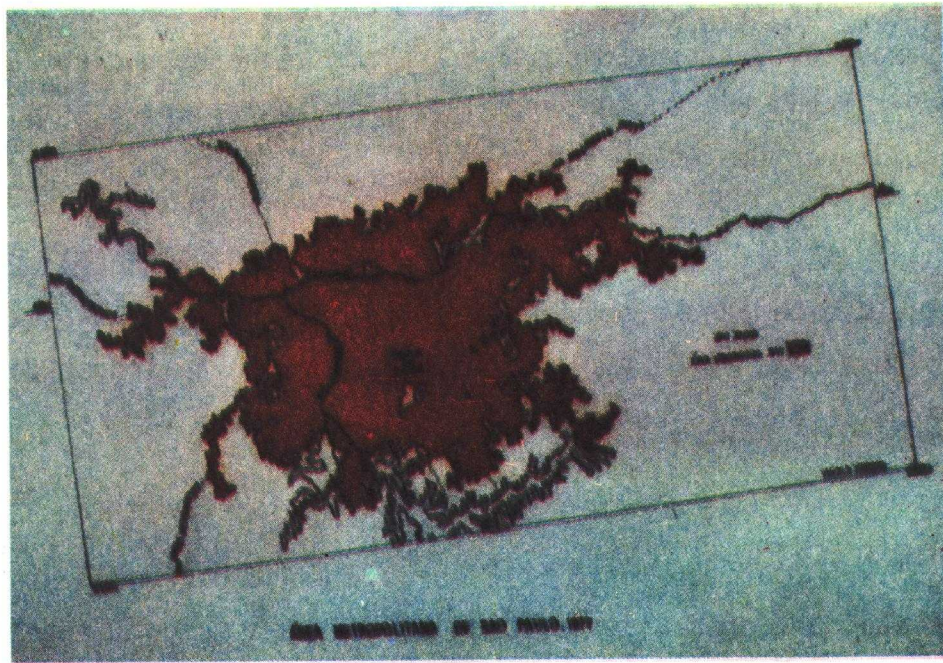


Fig. 3 - Mancha urbana contínua da Grande São Paulo (1977)

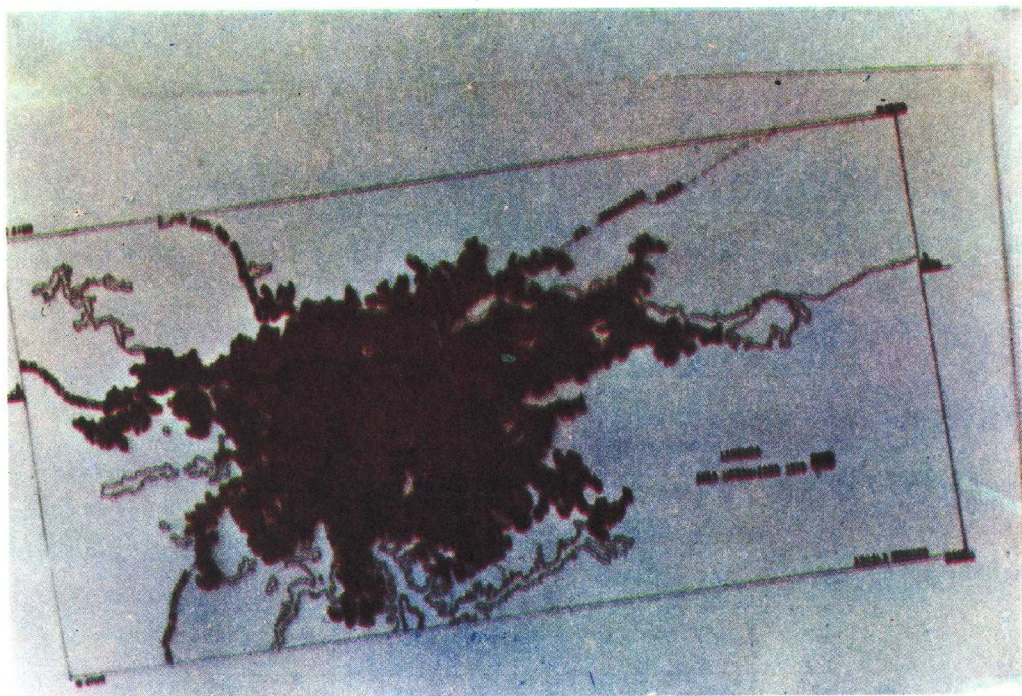


Fig. 4 - Mancha urbana contínua da Grande São Paulo (1978)

O setor sudoeste da área de estudo em 1973 (Figura 1) apresentava áreas de ocupação desordenada com pequenos núcleos ao longo da rodovia Regis Bittencourt. Em 1975 (Figura 2), entretanto, já se nota a aglutinação destes núcleos.

Ao se comparar os anos de 1975 e 1977 (Figuras 2 e 3) verificou-se a expansão no sentido leste, nordeste, oeste e sudoeste. No sentido nordeste, por exemplo, a ocupação se deu ao longo da via Presidente Dutra onde se notam ocupações isoladas com vazios intersticiais.

No período 1977-78 (Figuras 3 e 4), o crescimento urbano manteve sua tendência anterior, mas nota-se uma maior intensidade de crescimento nas regiões mais industrializadas (Santo André, Mauá, Mogi das Cruzes e Guarulhos).

Os resultados do cálculo de área urbana, quando da utilização de interpretação visual de imagens, podem ser vistos na Tabela 1.

TABELA 1

ÁREA METROPOLITANA DE SÃO PAULO - ÁREA
URBANIZADA DE 1973 - 1978

DATA	ÁREA (km ²)
1973	1052
1975	1097
1977	1149
1978	1187

Os valores apresentados na Tabela 1 serviram de base para o cálculo das taxas de expansão urbana descritas na Tabela 2.

TABELA 2

ÁREA METROPOLITANA DE SÃO PAULO: TAXAS DE EXPANSÃO
URBANA DE 1973 A 1978

Data	Diferença	Taxa de crescimento	Taxa de crescimento anual
1973 a 1975	45 km ²	4,27%	2,14
1975 a 1977	52 km ²	4,74%	2,37
1977 a 1978	36 km ²	3,13%	3,13
1973 a 1978	135 km ²	12,80%	2,56

Pela análise da Tabela 2, pode-se notar um crescimento relativamente constante de 1973 a 1977. No período de 1977 a 1978 a taxa de expansão urbana sofreu acréscimo maior em relação aos períodos anteriores, considerando-se que o intervalo de tempo é de apenas um ano.

Analisando-se o crescimento percentual de 12,80% no período de 1973 a 1978, pode-se chegar a um crescimento médio anual de 2,56% para a mancha urbana contínua da Grande São Paulo.

3.2 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA

Os resultados obtidos a partir da interpretação automática da fita CCT, referente a 5 de abril de 1978, utilizando-se a opção de classificação "Máxima Verossimilhança", encontram-se apresentados na Tabela 3.

TABELA 3

RESPOSTAS ESPECTRAIS DAS CLASSES URBANAS UTILIZANDO-SE

QUATRO CANAIS ESPECTRAIS

Classes	Respostas Espectrais	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7
Centro		35,92	35,07	33,09	28,54
Urbana 1		38,87	44,46	46,14	39,95
Urbana 2		38,40	42,74	50,93	46,67
Urbana 3		42,51	50,03	62,32	57,78
Loteamentos		54,89	83,25	95,62	77,15

Pela análise da Tabela 3, verifica-se que as cinco classes definidas no espaço urbanizado apresentam diferentes comportamentos espectrais.

A classe centro apresenta-se com tonalidades mais escuras nos quatro canais do LANDSAT, quando comparada com as demais classes analisadas (Tabela 3). Isto explica-se pelo fato desta área apresentar-se com maior adensamento de edificações, gerando problema de sombreamento nas imagens. A este fato poderia se adicionar a poluição urbana que é mais intensa na área central. Esta classe urbana é quase totalmente desprovida de vegetação, o que contribui para que sua resposta espectral seja mais baixa no canal 7.

A área imediatamente contígua à classe centro, corresponde à área urbana 1. Como pode-se ver na Tabela 3, esta classe apresenta-se com respostas espectrais mais altas em todos os canais, quando comparada à classe centro. Isto se explica pelo menor adensamento

das edificações nesta classe, favorecendo a interferência de outros alvos, como ruas asfaltadas, pátios de estacionamentos e telhados de várias tonalidades, em sua resposta espectral.

A classe urbana 2, está caracterizada por respostas espectrais mais baixas nos canais 4 e 5, quando comparada a todas as outras classes, com exceção da classe centro. A classe urbana 2 corresponde à classe residencial unifamiliar de nível sócio econômico elevado. Tem como componentes principais além das edificações, ruas arborizadas e jardins.

A classe urbana 3, corresponde à periferia da área metropolitana. Apresenta-se com diferentes coberturas de solo, correspondendo à classe residencial unifamiliar, de nível sócio-econômico baixo. A alta reflectância desta classe nos canais 6 e 7 é explicado pela baixa densidade das edificações e presença de terrenos baldios.

A classe loteamentos corresponde às áreas mais recentemente incorporadas ao tecido urbano. Apresenta-se altamente reflexiva quando comparada à outras classes. Isto pode ser explicado pela ausência de cobertura vegetal e baixa umidade associada a esta classe.

O mapa da área urbanizada pode ser visualizado na Figura 5, onde se encontram somadas as classes centro, urbana 1, urbana 2, urbana 3 e loteamentos.

Obteve-se através do *Programa Cálculo da Área* um total de área urbanizada igual a 1106 km². Este resultado foi inferior ao obtido na interpretação visual utilizando-se imagem da mesma data (Tabela 1). Isto se explica pelo fato de não terem sido consideradas na interpretação automática as áreas verdes (parques, praças, etc), no interior da área urbanizada.

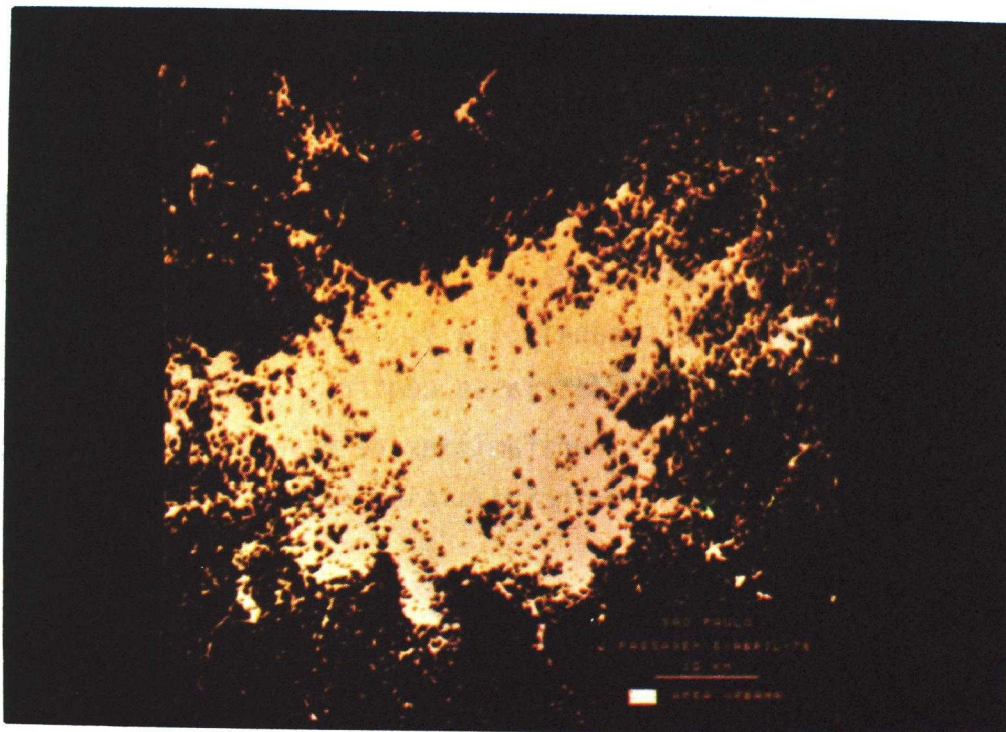


Fig. 5 - Área urbanizada da Grande São Paulo (1978), obtida no vídeo do Sistema IMAGE-100.

A interpretação visual de imagens LANDSAT na escala 1:250.000 se mostrou viável, neste tipo de estudo, fornecendo informações quantitativas das tendências da expansão urbana, nos vários períodos analisados.

A interpretação automática, apresentou sérios problemas classificatórios, quando se tentou analisar todos os períodos em estudo. Estes problemas, entretanto, poderão ser solucionados, dividindo-se a área de estudo em módulos, a serem ampliados até a escala aproximada de 1:100.000.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CASTELL, M. *La cusion urbana*, México, Siglo Veintiuno, 1977.
- [2] LANGENBUCH, J.R. *A estruturação da Grande São Paulo*. Tese de doutoramento apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Universidade de Campinas. Rio de Janeiro, IBGE, 1971.
- [3] AB'SABER, A.N. *Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo*. Tese de doutoramento apresentada à cadeira de Geografia do Brasil da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São Paulo. Universidade de São Paulo, 1957. (Boletim 219). (Geografia 12).
- [4] MURAI, S. Estimation of population density in Tokyo districts from ERTS-1 data. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9., Ann Arbor, Mich., 1974. Proceedings. V. 1, p. 13-22.