

Uso de imagens de alta resolução espacial e análise orientada a objeto para caracterização socioeconômica do espaço residencial construído

Íris de Marcelhas e Souza¹
Cláudia Durand Alves¹
Claudia Maria de Almeida¹
Carolina Moutinho Duque de Pinho¹

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{iris, durand,almeida} @dsr.inpe.br
{carol} @dpi.inpe.br

Abstract: This work analyzed the residential area of the city São José dos Campos using a thematic map containing the following intra-urban classes: vegetation, types of roofs (metal, concrete, asbestos, ceramic tiles, etc.), swimming pools, shadow, asphalt, bare soil. The thematic map was obtained by a multi scale segmentation and object-oriented classification of a QuickBird image with 0.61 m spatial resolution using software *e-Cognition 4.0*. Samples of residential blocks were obtained and the attributes of the land cover classes were analyzed to characterize the final classes of interest. A threshold of each intra-urban class in the sample was used to create the description of the blocks occupied by *low*, *medium* and *high* income population. The results were statistically evaluated through the error matrix and the calculation of *Kappa* coefficient using as reference a map thematic obtained through visual interpretation and field research. It was observed that there is high correlation between the intra-urban class configuration in the samples blocs and the different patterns of the residential built-up areas. This is the motivation for further studies.

Palavras-Chave: intra-urban land cover, objected-oriented classification, socioeconomic characterization of the residential area, cobertura do solo intra-urbano, classificação orientada a objeto, caracterização socioeconômica do espaço residencial.

1- Introdução

De acordo com o censo demográfico de 2000 a população brasileira é 169.799.170 de habitantes, sendo que mais de 81% desta população está concentrada em áreas urbanas (IBGE, 2000). O atendimento das demandas da população urbana (serviços das redes hospitalares, escolares e de recreação, entre outros) é um problema para o planejamento. O planejamento é um processo que teoricamente deve possibilitar a elaboração de um conjunto de ações orientadas sobre a estrutura espacial em diferentes escalas. Conseqüentemente, é de fundamental importância para este processo, conhecer a realidade para nela atuar coerentemente.

O espaço intra-urbano é fragmentado pelos diferentes usos e embora exista uma articulação entre estes usos, há no espaço, uma divisão econômica e outra social, representando as áreas comerciais e as áreas residenciais respectivamente (Correa, 1995). Considerando que a produção do espaço destinado a moradia corresponde a cerca de 70% do total de edificações das cidades (Rodrigues, 2001), parece pertinente pensar que o conhecimento de como é este uso e como se dá a sua distribuição na cidade é de interesse daqueles que tomam decisão sobre este ambiente. Nesse sentido, um conjunto de informações relevantes ao processo de planejamento urbano é aquele acerca da distribuição espacial dos diferentes segmentos da população no espaço urbano. Esse conjunto de informações pode ser obtido por dados de sensores remotos orbitais de alta resolução espacial.

Na área de sensoriamento remoto orbital são observadas as mudanças nas características dos sistemas sensores que geram produtos, cada vez mais, capazes de discriminar os alvos na superfície terrestre, devido à melhoria na resolução espacial. A disponibilidade de produtos de alta resolução espacial está ampliando sobremaneira os estudos urbanos que utilizam esta

tecnologia, tanto para o mapeamento da cobertura quanto para a definição e caracterização do uso do solo intra-urbano.

Em estudos recentes, Souza (2003) e Gonçalves (2006), utilizaram imagem Ikonos com 1 metro de resolução espacial para separar dentro do espaço residencial construído, áreas com características de ocupação semelhantes. Segundo os autores, a imagem possui diferenças texturais que permitem dividir a cidade em zonas homogêneas quanto a textura. O pressuposto teórico destes trabalhos é a existência de uma forte correlação entre essas diferentes áreas e características demográficas da população. Os resultados obtidos nestes trabalhos evidenciaram que diferentes áreas, dentro da cidade estudada, possuem, em grande maioria, densidades demográficas também diferenciadas. Isso tem motivado estudos nessa linha de pesquisa, as quais tentam correlacionar espaço residencial construído e características socioeconômicas da população. Entretanto, observa-se na metodologia empregada nestes trabalhos, o uso de técnicas de interpretação visual, procedimento este que demanda tempo e acrescenta subjetividade aos processos de extração de informações. De forma geral, o uso desta metodologia para extração de informações em imagens de alta resolução espacial está associada à complexidade espectral e variabilidade espacial dos elementos que compõem as áreas urbanas, pois esta metodologia apresenta melhores resultados quando comparados com os métodos tradicionais de classificação automática. Nesse sentido, a utilização de técnicas automáticas para a extração de informações urbanas e intra-urbanas de imagens de alta resolução espacial vem sendo alvo de diversos estudos (MESEV, 2003). Dentre estas técnicas destacamos aquelas baseadas em análise orientada a objeto.

A análise orientada a objeto realiza uma análise sobre segmentos da imagem (objetos) e não apenas sobre os pixels. Esta abordagem é composta basicamente por dois passos: Segmentação Multiresolução e Classificação. No primeiro são criados objetos em diferentes escalas, de acordo com critérios de forma, cor e homogeneidade, conectados entre si. No segundo, os objetos passam a se relacionar através da definição de uma rede hierárquica (herança dos atributos que descrevem a classe) e da rede semântica (estrutura lógica de relação entre as classes). Na imagem, um objeto representa uma identidade que pode ser individualizada por seus atributos e propriedades da classe que lhe deu origem (Definiens, 2006). Estes atributos não correspondem unicamente às características espectrais dos objetos, mas também às relações topológicas, textura, forma, tamanho, entre outras. Os objetos com características comuns são agrupados em classes e as classes são organizadas em forma de redes hierárquicas e semânticas. O sistema busca simular o funcionamento da cognição humana. Em seu trabalho Pinho (2005) identificou os atributos que melhor descreviam as classes de cobertura do solo intra-urbano. A elaboração das redes semântica e hierárquica mostrou a complexidade presente nos diferentes elementos que compõem a cobertura deste ambiente. Entretanto, os bons resultados obtidos na sua classificação são um indicativo de que este é um caminho viável para a obtenção de informações destas imagens de forma mais rápida e menos subjetiva.

Baseando-se no contexto da obtenção de informações e nos resultados obtidos nestas duas linhas de trabalho (associação do uso residencial a características socioeconômicas (Souza, 2003; Gonçalves, 2005) e extração automática da cobertura do solo intra-urbano (Pinho, 2005)) é que este estudo foi proposto. Buscou-se avaliar a correlação entre os elementos presentes em um mapa de cobertura do solo intra-urbano e sua utilização para a caracterização de áreas habitadas por população de baixa, média e alta renda, tendo como área de estudo aproximadamente 20% das quadras residenciais da cidade de São José dos Campos¹ – SP.

¹ O município de São José dos Campos está localizado numa das regiões mais dinâmicas do Estado de São Paulo, no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, entre as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Com população 610.965 habitantes é um dos centros industriais e de serviços mais importantes do Estado. É 9º maior PIB do Brasil e 3º do Estado e 2º maior cidade exportadora do País (<http://www.sjc.sp.gov.br> – acesso em outubro 2008).

Esta análise foi baseada em um mapa temático contendo as classes de cobertura do solo intra-urbano, disponibilizado por Pinho (2005).

3 – Matérias e Metodologia

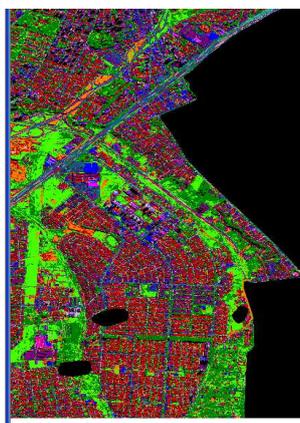
3.1 - Materiais

Foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho os seguintes materiais e equipamentos:

- Banco de dados elaborado por Pinho (2005) no e-Cognition 4.0 contendo:
- imagem digital QUICKBIRD no modo colorido (B (0,445 – 0,516), G (0,50 – 0,59nm), R (0,63 – 0,69)) com 0,61 m de resolução espacial (obtida através da fusão da imagem QUICKBIRD nas bandas multiespectrais e pancromática), adquirida em 17 de maio de 2004, com ângulo de 7,0° off-nadir, cobrindo parcialmente a mancha urbana da cidade de São José dos Campos (Figura 1);
- *layer* de Cobertura do solo intra-urbano (Figura 1);
- *layer* de Malha viária e Quadras (figura 1);
- rede hierárquica e descritores das classes de cobertura do solo.



Layer Imagem



Layer Cobertura do solo



Layer malha viária e quadras

Figura 1- Layers disponíveis no Banco de Dados

- Mapa temático das Zonas Residenciais Homogêneas obtido por meio de interpretação visual;
- Software *e-Cognition 4.0*;
- AutoCAD Map 2000;
- SPRING 4.1 (Sistema de processamento de Informações Georreferenciadas);
- TerraView 3.0

3.2 - Metodologia

3.2.1 – Edição dos layers existentes no Banco de Dados

Primeiramente, foi realizada uma edição vetorial no AutoCAD Map, no *layer malha viária e quadras*, para separar dentro das quadras as áreas de interesse, no caso, *uso residencial unifamiliar e multifamiliar*, dos demais usos. Em seguida, estes dados foram re-inseridos no Banco de dados. O *layer malha viária e quadras* (editado) foi segmentado com parâmetros de escala 10.000, forma 0.9 e cor 0.1 e posteriormente classificado com as classes *residencial*, *não residencial* (parques, vazios urbanos, indústrias, comércios, etc) e *ruas*. Este procedimento foi realizado através da interpretação visual na tela do computador baseado no conhecimento dos intérpretes e visitas a campo.

3.2.2 - Definição dos atributos das classes de interesse e classificação

No *e-Cognition 4.0*, os objetos são classificados baseados numa função de pertinência fuzzy. Os conjuntos fuzzy permitem a inclusão de um objeto em uma determinada classe baseando-se em um grau de pertinência dado por limites imprecisos. As funções são elaboradas a partir de histogramas dos atributos selecionados para formar a função de pertinência de cada classes. O software apresenta uma variedade de atributos para a elaboração das regras da classificação, entre eles, atributos do objeto, de relacionamento entre as classes, relacionamento global e operadores lógicos (que podem se dar no mesmo nível da rede hierárquica ou em níveis superiores ou inferiores). O conjunto de atributos que descrevem cada classe é chamado descritor. Para a elaboração dos descritores foram coletadas amostras de treinamento nas quadras residenciais (no *layer malha viária e quadras*) que apresentavam características de ocupação para cada uma das classes de interesse. Em seguida, a partir do *layer de cobertura do solo intra-urbano* (contendo as classes vegetação, tipos de telhados (metálico, concreto amianto, telha cerâmica, etc.), piscinas, sombra, asfalto, solo) foram espacializados os atributos das classes de cobertura para a identificação daqueles que permitissem maior separabilidade entre as amostras. Essa espacialização consiste na visualização de uma imagem limiarizada, que possibilita avaliar o comportamento do atributo da classe no conjunto das amostras.

3.2.3 - Validação dos resultados

Os resultados obtidos foram comparados ao Mapa Temático de Zonas Residenciais Homogêneas, obtido a partir da interpretação visual de imagens de alta resolução espacial, fotografias aéreas, visitas a campo e variáveis socioeconômicas do IBGE (Gonçalves, 2005).

A comparação entre os dados foi realizada por meio da matriz de confusão e do cálculo do coeficiente de concordância *Kappa*.

4 - Resultados

A Figura 2 apresenta um recorte da área contendo os resultados da edição do *layer malha viária e quadras* quando se deu a separação dos usos residencial (*unifamiliar e multifamiliar*) dos demais usos (*não-residencial e ruas*), juntamente com a imagem QUICKBIRD e o layer original quadras e ruas antes da edição.

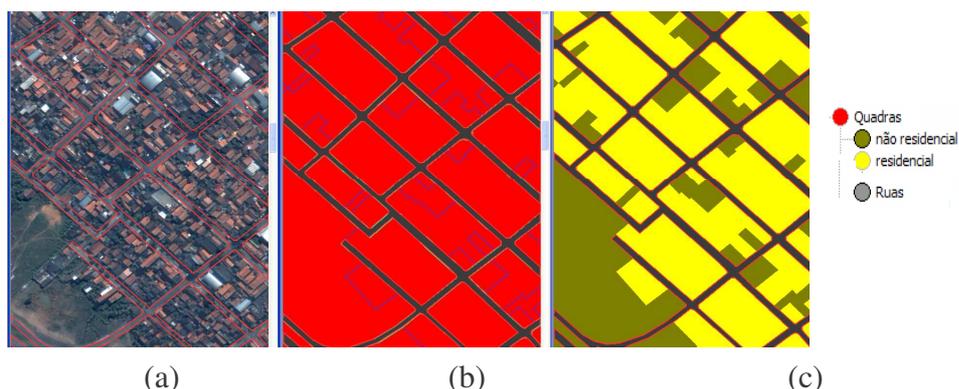
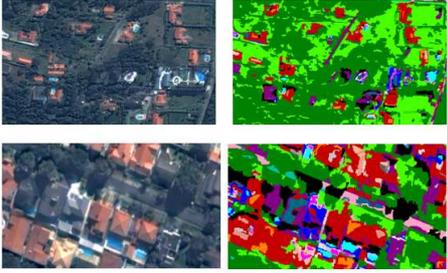
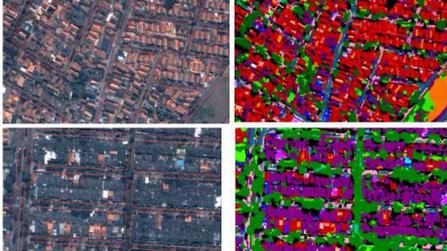


Figura 2 – Imagem QUICKBIRD e layer *quadras e ruas* original (a), layer *quadras e ruas* editado (b) e layer *quadras e ruas* classificado (c).

Foram identificados os atributos das classes de interesse no *layer de cobertura do solo* que melhor discriminavam as quadras amostrais, por meio da espacialização dos atributos disponíveis no *e-Cognition4.0*. Constatou-se que o atributo que melhor discriminou as amostras foi o atributo de área relativa das classes de cobertura do solo intra-urbano. Com

este atributo foi possível caracterizar o espaço residencial conforme exemplo das classes *alta* e *média* demonstrados na figura 3.

Unifamiliar Classe Alta	Características gerais	Atributo	Subdivisão
	Quadras organizadas; Ruas largas e pavimentadas; Vegetação densa; Grandes telhados; Muitas piscinas; Heterogeneidade nos materiais dos telhados	Presença de Piscinas Área relativa de { Vegetação arbórea Vegetação rasteira Cerâmica escura	Alta 1 { Alta 2 { densidade de ocupação
	Quadras organizadas; Ruas pavimentadas; Vegetação média; Regularidade no tamanho das coberturas dos telhados; Presença de piscinas; Heterogeneidade nos materiais dos telhados	Área relativa de { Vegetação arbórea Concreto escuro Cerâmica escura	Média 1 { Média 2 { Conjunto residencial

Vegetação Arbórea	Cerâmica escura
Vegetação Rasteira	Concreto escuro
Piscina	

Figura 3 – Síntese das características gerais, atributos e subdivisão das classes *Alta e média*

Os locais de residência da população da *classe baixa* apresentam-se como áreas consolidadas, densamente ocupadas, com ruas, pavimentadas e com pouca arborização. Nas quadras pertencentes a esta classe observa-se a presença de grandes telhados indicando a coexistência de usos (residencial e comercial), há pouca arborização intra-quadras. Esse tipo de ocupação pôde ser caracterizado pelos atributos de área relativa de *concreto escuro* e área relativa de *cerâmica escura*. Esta classe foi subdividida em *baixa 1* e *baixa 2*, pois apresenta em determinadas quadras ausência de vegetação tanto nas ruas quanto nas quadras. Algumas quadras com características da classe *baixa 1* apresentaram os mesmos intervalos que as quadras da classe *médial* para as coberturas de *concreto escuro* e *cerâmica escura*. Entretanto, essas áreas apresentaram diferentes proporções de vegetação arbórea nas ruas. Nesse sentido, para diferenciar estas classes, foi necessário criar um índice de vegetação associado às quadras, contendo perímetro e área de vegetação presente nas ruas circundantes das quadras residenciais. O perímetro é dado pela medida de intersecção da classe vegetação com a classe quadras residenciais. A área é dada pela área de vegetação contida na classe rua a uma distância de até 15 metros das quadras residenciais, distancia esta, definida empiricamente após a análise da área de estudo. Por questões operacionais os procedimentos para obtenção deste índice foram realizados através dos softwares SPRING e TerraView. O uso do SPRING foi devido ao fato do *layer de cobertura do solo* possuir um grande número de polígonos contíguos na classe vegetação arbórea, gerando a necessidade de se agrupar estes polígonos. Este agrupamento foi realizado por meio da conversão dos dados em formato vetorial para o formato matricial e posterior re-conversão. Foi elaborado um programa (C+ +)

para gerar os atributos de área e perímetro referentes ao índice de vegetação para cada quadra residencial. Posteriormente esses dados foram inseridos no TerraView onde através da consulta por atributos foram determinados os limiares deste índice para as *classes média 1 e baixa 1*. Os valores identificados para a *classe média* (área $\geq 100\text{m}^2$ e perímetro $> 0,06\text{m}$) e *baixa* (área $< 100\text{m}^2$ e perímetro $< 0,06\text{m}$) foram inseridos como um novo *layer* no e-Cognition. Esta informação foi selecionada como um atributo a mais para a identificação destas classes.

Embora o uso *multifamiliar* pudesse ser inserido, teoricamente, nas classes *alta, média e baixa*, este tipo de ocupação foi preliminarmente separado do *unifamiliar* na edição do *layer quadras e ruas* por apresentar configuração diferenciada das classes de cobertura do solo em relação às áreas unifamiliares. Estas áreas apresentaram, de maneira geral, alta densidade de sombra, presença de coberturas claras (concreto amianto claro ou cobertura metálica), piscinas e vegetação. Na análise visual das amostras desta classe observou-se que as áreas ocupadas por conjuntos residenciais verticais podiam ser discriminadas daquelas áreas compostas por uma única construção vertical. A distribuição uniforme e padronizada e a densidade das construções nos lotes evidencia esse padrão. Isso levou à subdivisão da classe multifamiliar em *multi 1 e multi 2*. Baseando-se na análise do contexto urbano da cidade, a classe *multi 1* foi considerada como de ocupação da classe *média* e a *multi 2* da classe *baixa*. Esta subdivisão também foi possível devido às distintas limiarizações dos atributos que determinavam as classes de cobertura do solo para estas áreas.

As áreas ocupadas por favelas são facilmente identificadas nas imagens de alta resolução espacial. De forma geral, elas apresentam desorganização interna e dificuldade de identificação do arruamento, evidenciando falta de planejamento no processo de ocupação. As coberturas das moradias apresentam grande diversidade de materiais (metálicos, madeira, etc) e irregularidade de forma e dimensão. Na área de estudo foram encontradas três áreas com estas características de ocupação. As classes de cobertura do solo que contribuíram para a elaboração dos descritores foram: *concreto amianto claro, concreto amianto escuro, cobertura metálica, vegetação rasteira e sombra*, estas últimas apresentando baixos limiares

Após a elaboração dos descritores e das funções de pertinência foi realizada a classificação. A figura 4 apresenta os resultados da classificação final obtida neste trabalho.

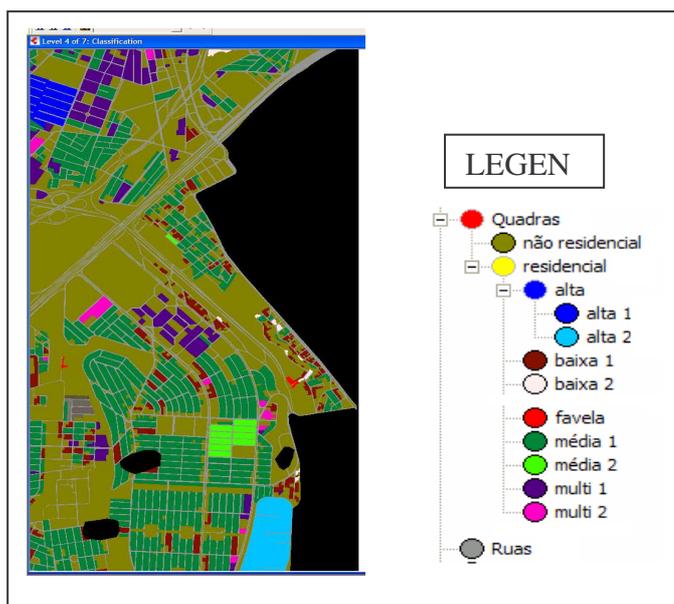


Figura 4– Classificação do uso residencial

Observa-se que as quadras classificadas como *média 1*, *multi 1 e 2* e *baixa 1* apresentam maior ocorrência na área de estudo. Há apenas 2 ocorrências para a classe alta, uma quadra ao norte, *alta 1* e a sudeste, *alta 2*.

A avaliação estatística dos resultados, mostraram uma concordância global de 0.89 e Kappa de 0.78. As quadras classificadas como *multifamiliar*, *alta*, *favela* e suas variações apresentaram uma concordância de 100% com os dados da referência. Este fato pode ser explicado, no caso das classes *alta 1 e alta 2*, devido às características bastante diferenciadas em relação ao tamanho padrão dos lotes (grandes dimensões) e a alta densidade de vegetação, destacando-se do contexto das outras áreas. As quadras das classes *média 1 e baixa 1* são aquelas que apresentaram maiores erros de omissão e inclusão. Na tentativa de superar este problema foi elaborado o *layer* contendo o perímetro e área de vegetação nas ruas. No entanto, apesar de este procedimento melhorar o resultado da classificação em algumas quadras, o problema persistiu em outras. Uma melhora nos resultados poderia ser obtida com a definição de um atributo que indicasse a presença de casas geminadas nas quadras, já que a classe *baixa 1* apresenta muitas construções deste tipo, o que a diferenciaria da classe *média 1*. No entanto, este tipo de reconhecimento de forma automática é muito difícil, pois, segundo Pereira (1989) e Kurkdjian (1986), dependem da análise das convergências de evidências e do contexto espacial, que consiste num processo dedutivo de identificação de objetos através da associação a outros fatores.

5 – Conclusões

Este estudo buscou trabalhar com as diferenças que o espaço geográfico, em sua dimensão concreta, apresenta. Essa diferenciação, aliada ao conhecimento que os autores têm da cidade, permitiu caracterizar as quadras como áreas com padrão de ocupação de população de baixa, média e alta renda e também áreas com favelas. Para isso, foi utilizado um mapa temático com as classes de cobertura do solo intra-urbano da cidade, obtido através da classificação orientada a objeto de uma imagem de alta resolução espacial.

A utilização de um conjunto de objetos hierarquicamente organizados, um classificador *Fuzzy* de pertinência e um mapa de cobertura do solo com boa exatidão temática, permitiram a elaboração de um mapa contendo a distribuição da população em classes sociais, cobrindo uma área de aproximadamente 20% da área residencial da cidade de São José dos Campos. Pôde-se observar que as classes do mapa de cobertura do solo apresentaram configurações diferenciadas (área, perímetro e presença) nas quadras analisadas, permitindo um bom resultado na classificação final.

Os resultados obtidos foram avaliados quantitativamente e qualitativamente, permitindo conhecer com certa precisão a distribuição dos diferentes segmentos populacionais que esta área da cidade apresenta. No entanto, considerando os erros de omissão e inclusão das áreas com características de ocupação da classe *média e baixa*, estudos mais aprofundados devem ser realizados a fim de se verificar se esta metodologia é adequada para a análise do espaço residencial da cidade como um todo. Além disso, durante a realização do trabalho, foi necessário realizar a edição das informações vetoriais para a obtenção do isolamento da área de interesse dentro do ambiente intra-urbano, no caso, o uso residencial. Este tipo de procedimento demanda tempo e pode ser inviável para áreas intra-urbanas mais extensas.

Acreditamos que os resultados obtidos aqui são motivadores da continuidade de estudos nessa linha de pesquisa, cujo pressuposto teórico é que há uma estreita relação entre o espaço residencial construído e as características econômicas e sociais da população.

Mesmo considerando os limites de apreensão da totalidade que compreende o espaço geográfico, as imagens de alta resolução espacial apresentam novas possibilidades às análises geográficas na sua dimensão de reflexo da sociedade, ainda que esta possibilidade tenha estreita relação com o domínio das técnicas e o conhecimento que se tem da área de estudo.

Agradecimentos

Gilberto Ribeiro pelo auxílio em programação

Referencias Bibliográficas

Correa, R.L. **O espaço urbano**, São Paulo, Atica 1995, 96 p.

DEFINIENS, *e-Cognition Professional*, Users Guide 4.0.

Gonçalves, C. D.A.B., Souza, I.M.Pereira, M.N.; Freitas Análise do Ambiente Residencial Urbano Visando a Inferência Populacional a Partir do Uso de Dados de Sensoriamento Remoto Orbital de Alta Resolução. **Geografia**, Rio Claro, v 31 n. 2 p.371-402, maio a agosto 2006

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002b. CD-ROM.

Kurkdjian, M.L.N.O. **Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de Sensoriamento Remoto com vistas ao planejamento urbano**. 1986.158 p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (INPE 6358-TAE/026).

Mesev, V. **Remotely Sensed Cities**, London, UK, Taylor & Francis, 2003

Pereira, M. N.; Kurkdjian, M. L.N. O.; Foresti, C. **Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto**. São José dos Campos:INPE, 1989 (INPE-5032-MD/042).

Pinho, C. M. D, Feitosa, F. F. e Kux, H.; Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR) 12, 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos p. 4217 - 4224. CD-ROM. ISBN 85-17- 00018-8.

Rodrigues, A. M. . A Moradia Nas Cidades Brasileiras. **CONTEXTO**, 1988. 72 p.

Souza, M. I. **Análise da estrutura do Espaço intra-urbano para estimativa populacional intercensitária utilizando dados orbitais de alta resolução espacial**. São José dos Campos. 100 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP São José dos Campos.2003.