

## **Geotecnologias aplicadas na análise do crescimento urbano e suas implicações na macrodrenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí, São José dos Campos-SP**

Paulo Roberto Belisário<sup>1</sup>  
Mario Valério Filho<sup>1</sup>  
Rogério de Souza<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP/IP&D  
Av. Shishima Hifumi, 2911 – São José dos Campos – SP, Brasil  
paulobeli@gmail.com / mvalerio@univap.br / souzarogério@ig.com.br

**Abstract.** This paper presents a methodology for land use/land cover mapping, using geo-technologies, during the timeframe 2008 and 2010. Afterwards, the land use/land cover classes were associated to imperviousness indices and related to the occurrences of flooding and inundations of Ribeirão Cambuí, located within the urban area of São José dos Campos. The methodological development consisted in the analysis and interpretation of satellite images to map land use/land cover associated to soil imperviousness, using the SPRING platform to represent them spatially. The temporal analysis performed with the geo-technologies used indicated the efficiency of these tools for the analysis of changes within the urban space, providing important information for governmental planning activities.

**Palavras-chave:** remote sensing, planning, high resolution images, inundation, sensoriamento remoto, planejamento, imagens de alta resolução, inundação.

### **1. Introdução**

As inundações em áreas urbanas representam um sério problema para grande parte dos municípios brasileiros, principalmente quando atinge áreas densamente ocupadas, ocasião em que geram prejuízos consideráveis e muitas vezes irreparáveis, com perdas de vidas humanas.

O controle de inundações em bacias urbanizadas envolve um conjunto de medidas estruturais e não estruturais que vão desde o planejamento do uso da terra urbano e rural à realocação humana, até o convívio com o problema. A inundação tem sido um problema freqüente nos períodos de chuvas tanto nas áreas mais antigas e consolidadas da cidade, como nas áreas de expansão urbana, agravado pela impermeabilização do solo, ocupação das várzeas e retirada das matas ciliares, dificultando-se assim, a infiltração das águas das chuvas.

A análise da dinâmica do uso e ocupação do solo é fundamental para o entendimento dos processos ocorridos no ambiente urbano em um determinado período.

Desta forma, a utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como, imagens orbitais de alta resolução, associadas aos SIG's tornam-se de fundamental importância, pois, contribuem com a análise da dinâmica temporal da transformação de determinadas áreas tais como as bacias hidrográficas. Neste sentido os SIG's e os produtos de Sensoriamento Remoto são importantes ferramentas nas análises, no auxílio ao armazenamento, utilização e atualização de dados espaciais que requerem ajustes constantes.

Porém, segundo Pinho et al. (2007) “a utilização deste tipo de imagem impõe novos desafios para a classificação automática de uso e cobertura do solo intraurbano.” De acordo com Pinho (2005), a dimensão dos alvos de interesse em imagens de alta resolução, por se apresentarem “maiores do que os pixels da imagem e com grande variabilidade interna no número digital (ND)<sup>6</sup> dos pixels dentro de uma mesma classe”, torna limitada a extração de informações em processos de classificação automática.

Sendo assim, a interpretação visual com suporte de uma resolução espacial adequada a informação que se deseja extrair, é uma alternativa aos métodos de classificação digital

automática e semi-automática. Segundo Jensen (2009) “Os analistas ou intérpretes de imagem são capazes de considerar o sítio físico, a localização e a associação de estruturas de forma contextual.”

Neste sentido o presente trabalho tem como objetivo, mapear as classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí no período 2008 e 2010, para analisar sua dinâmica e suas relações com a impermeabilização dos perímetros ocupados e conseqüentemente a sobrecarga na macrodrenagem.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

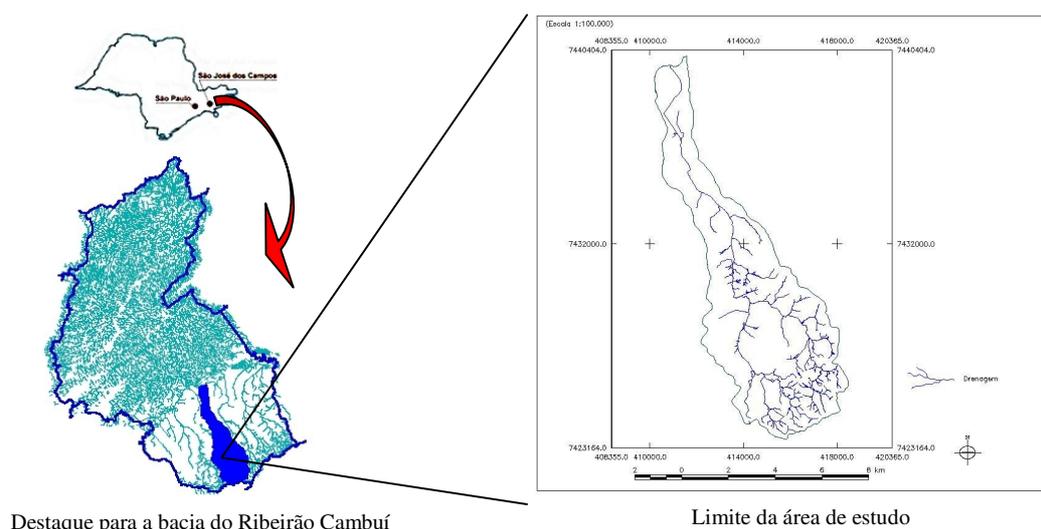
O município de São José dos Campos situa-se na região sudeste do Brasil a leste do estado de São Paulo, na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, o qual abrange uma área de aproximadamente 1.099 km<sup>2</sup>.

O município está situado no eixo da rodovia presidente Dutra, que liga São Paulo ao Rio de Janeiro e tem à sua margem importante pólo industrial. São José dos Campos é uma das principais cidades deste eixo, sendo pólo econômico com ascendência sobre outros núcleos urbanos paulistas do Vale do Paraíba.

Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado de São José dos Campos PDDI (1995), na ocupação do território das regiões sul e leste do município ocorreu o parcelamento do solo de forma desordenada. Notadamente a bacia do Ribeirão Cambuí, localizado entre as duas áreas, foi submetida à mesma forma de ocupação do território.

A bacia do Ribeirão Cambuí possui área de 49,5 km<sup>2</sup> e faz parte dos afluentes da margem direita do rio Paraíba do Sul, estando localizado totalmente no perímetro urbano do município de São José dos Campos.

A localização da área de estudo está representada na Figura 1.



Destaque para a bacia do Ribeirão Cambuí

Limite da área de estudo

Figura 1: Localização da área de estudo.

### 2.2 Materiais

No presente trabalho foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais, (INPE, 2003). O programa SPRING conjuga funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno, além de consulta a banco de dados espaciais. O mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2008 foi obtido de arquivo segundo Souza e Valério Filho (2011). Para o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo do ano 2010, foi utilizado uma imagem orbital do sensor Quikbird, disponibilizada pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos no CD ROM “Cidade Viva 2011”. Para a caracterização e identificação das classes de uso e ocupação do solo foram utilizados os padrões de referência segundo Valério Filho e Belisário (2012). Microcomputador Intel Pentium Dual-Core equipado com o programa SPRING versão 5.1.8.

### 2.3 Metodologia

Para o alcance dos objetivos foi estruturado um banco de dados que consistiu na consulta dos arquivos do mapa temático de uso e ocupação do solo para o ano de 2008, segundo Souza e Valério Filho (2011). No ambiente SPRING a máscara dos limites da bacia foi importado do levantamento de 2008 e aplicado sobre a imagem Quickbird 2010, a qual foi utilizada para o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo. Para atender os objetivos da pesquisa os perímetros urbanos foram agrupados em 5 classes segundo Valério Filho e Belisário (2012) conforme segue:

- Área urbana consolidada com alta taxa de ocupação praticamente não existe espaços livres. Quase toda a área das quadras apresentam-se tomadas pelas construções e todo o arruamento é asfaltado;
- Área urbana consolidada com média taxa de ocupação ocorre presença de áreas verdes, jardins, áreas industriais e institucionais, com arruamentos asfaltados;
- Área urbana não consolidada com média taxa de ocupação é caracterizada pela presença de espaços livres que correspondem a lotes ainda não ocupados por edificações e os arruamentos não são asfaltados;
- Área urbana não consolidada com baixa taxa de ocupação as edificações são esparsas. Nesta classe as áreas estão em processo de ocupação e arruamentos sem asfalto; e
- Área em implantação. São áreas de loteamentos com ausência de edificações, apenas arruamentos. Aparecem as terraplanagens para residências, indústrias, comércio e instituições.

Com base nos padrões acima definidos para as classes de adensamento urbano e demais classes presentes na área de estudo, foi realizada a análise e interpretação das imagens tendo como referência os padrões conforme Valério Filho e Belisário (2012). A espacialização dos perímetros urbanizados foi gerada visualmente com o programa SPRING versão 5.1.8 diretamente em tela, sendo que a escala de interpretação foi de 1:10.000. Em seguida a cada classe de uso e ocupação do solo foi relacionado um índice médio de impermeabilização adaptado conforme Tucci e Machado (1997) e Tucci e Marques (2000), para obter-se a evolução da impermeabilização da bacia.

Como mecanismo de análise, foram levantados os dados relativos à ocorrência de alagamentos e inundações junto a Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São José dos Campos, para possibilitar o cruzamento destes dados, com a evolução do crescimento urbano o qual está diretamente relacionado ao aumento da impermeabilização do solo, e assim fazer as inferências sobre as ocorrências das inundações e alagamentos na área de estudo.

### 3. Resultados e Discussão

Com base no material utilizado e a metodologia apresentada, segue os resultados dos mapeamentos das classes de uso e ocupação do solo, sendo que para o ano de 2008 foi obtido de arquivo segundo Souza e Valério Filho (2011) e para o ano 2010 o mapeamento foi conduzido segundo a abordagem metodológica de Valério Filho e Belisário (2012), através da análise e interpretação da imagem orbital do sistema Quickbird e o mapeamento das classes de uso e ocupação do solo estão representados na Figura 2 e Tabela 1.

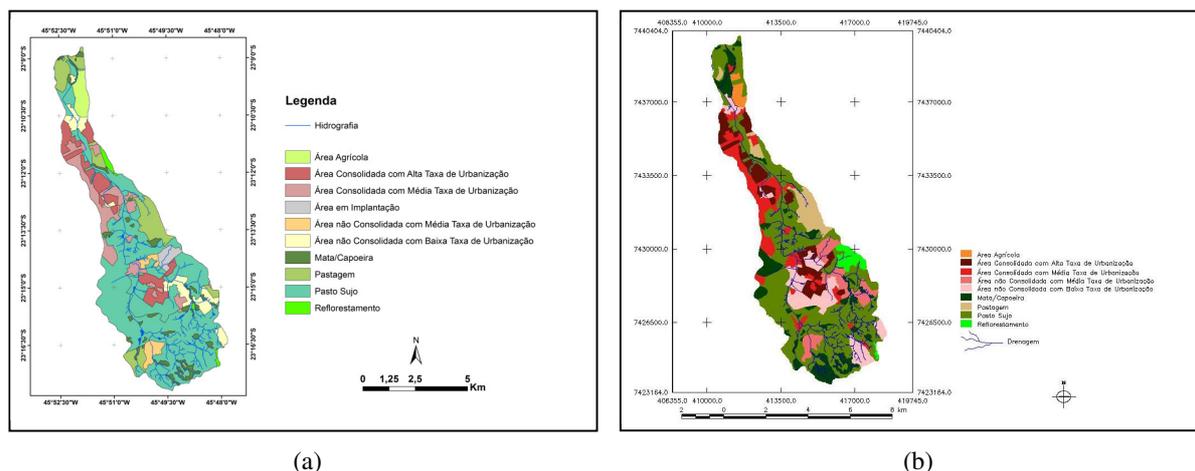


Figura 2: Mapas das classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí (a) 2008 e (b) 2010.

A quantificação das áreas ocupadas pelas classes de uso e ocupação do solo no período analisado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo para os anos 2008 e 2010, na Bacia do Ribeirão Cambuí no Município de São José dos Campos.

Classes de Ocupação Urbana	2008 (Km <sup>2</sup> )	2008 (%)	2010 (Km <sup>2</sup> )	2010 (%)
Área Urbana Consolidada Taxa Alta	4,05	8,18	4,61	9,32
Área Urbana Consolidada Taxa Média	4,37	8,83	4,93	9,96
Área Urbana Não Consolidada Taxa Média	1,12	2,26	3,02	6,10
Área Urbana Não Consolidada Taxa Baixa	2,84	5,74	4,99	10,08
Área Urbana em Implantação	0,78	1,58	0,00	0,00
Pastagem	4,79	9,68	2,59	5,23
Pasto Sujo	27,54	55,66	21,77	44,00
Área Agrícola	1,29	2,61	0,73	1,47
Mata Capoeira	2,28	4,61	5,08	10,27
Reflorestamento	0,42	0,85	1,76	3,56
Área Total	49,48	100,00	49,48	100,00

Pela análise dos mapeamentos da Figura 2, pode-se constatar que houve uma certa evolução entre as classes de uso ocupação do solo, embora, não sejam muito expressivas devido em parte pela escala dos mapas e também pela gradação das cores entre as duas datas, mas que podem ser confirmadas pelos dados da Tabela 1. Os resultados apresentados na Tabela 1 permitem constatar um pequeno aumento do crescimento em área para as classes Área urbana consolidada com alta taxa de ocupação e Área urbana consolidada com média taxa de ocupação. Por outro lado, as classes Área urbana não consolidada com média taxa de ocupação e Área urbana não consolidada com baixa taxa de ocupação, tiveram seus perímetros expandidos de forma mais expressiva. Este crescimento em parte pode ser atribuído à redução em área das classes de Pastagem, Pasto sujo e Área agrícola, conforme dados apresentados na Tabela 1. Este acréscimo se deve também ao fato

de ter sido considerado os perímetros urbanizados que se encontram nas regiões de contato com os setores rurais do município, que na grande maioria estão associados aos loteamentos denominados irregulares. No entanto, ressalva deve ser feita para os valores de redução da classe Pasto sujo, pois parte desta área pode ter evoluído para o padrão da classe Mata/Capoeira.

Para cada classe de uso e ocupação do solo foram atribuídos índices de impermeabilização pela média aritmética conforme Tucci e Machado (1997), Tucci e Marques (2000), permitindo-se assim estabelecer níveis de área impermeabilizada para cada uma das classes de uso e ocupação do solo da área de estudo, conforme apresentado na Figura 3.

Visando uma melhor visualização dos locais com maior ou menor criticidade quanto a impermeabilização do solo, foram criadas 5 classes de criticidade quanto ao nível de impermeabilização do terreno: Muito Alta Impermeabilização do Terreno classe Área Urbana Consolidada com Alta Taxa de Ocupação; Alta Impermeabilização do Terreno classe Área Urbana Consolidada com Taxa Média de Ocupação; Média Impermeabilização do Terreno classe Área Urbana Não Consolidada com Taxa Média de Ocupação; Baixa Impermeabilização do Terreno classe Área Urbana não Consolidada com Baixa Taxa de Ocupação; Muito Baixa Impermeabilização do Terreno classes Áreas em Implantação, Agricultura, Pastagem, Pasto Sujo, Mata Capoeira e Reflorestamento.

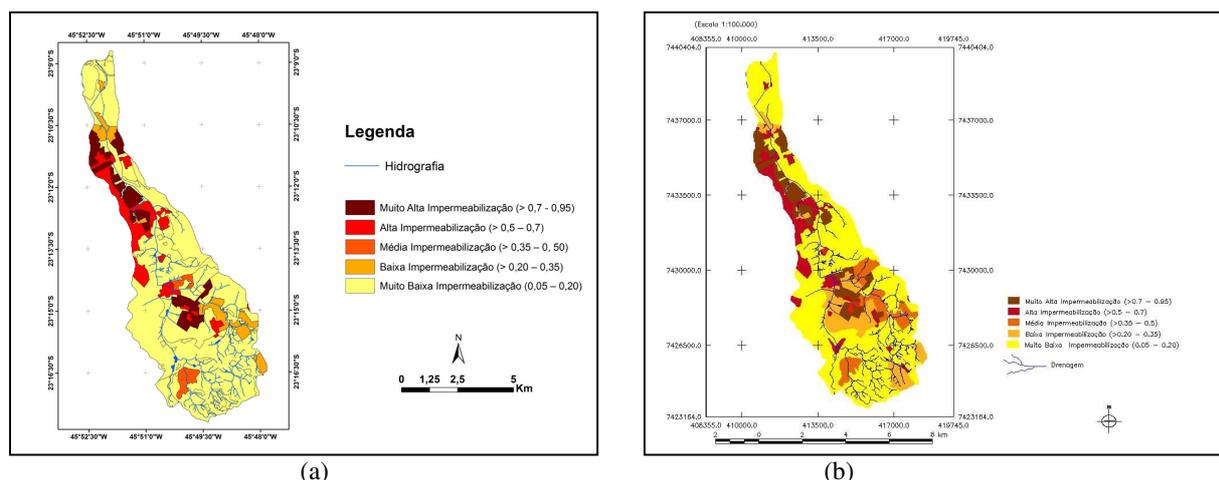


Figura 3: Espacialização dos índices de impermeabilização em função das classes de uso e ocupação na bacia do Ribeirão Cambuí no período analisado (a) 2008 e (b) 2010.

Pela análise da Figura 3 pode-se avaliar a dinâmica ocorrida quanto às principais classes de adensamento urbano no período, ou seja, a evolução das categorias de criticidade analisadas.

Com base nos resultados obtidos foi possível a espacialização e avaliação temporal da dinâmica do crescimento urbano na bacia do Ribeirão Cambuí no Município de São José dos Campos – SP, no período de 2008 a 2010. Embora tenha ocorrido valor não muito expressivo no acréscimo de áreas ocupadas na bacia, a inter-relação entre classes de adensamento é expressiva.

A Tabela 02 apresenta a área ocupada para cada um dos níveis de criticidade, quanto a impermeabilização do terreno na área de estudo.

Tabela 02 - Percentual de área impermeabilizada na bacia do Ribeirão Cambuí nos anos 2008 e 2010.

Classes de Impermeabilização do Terreno / Período	2008		2010	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Muito Alta Impermeabilização	4,05	8,18	4,61	9,32
Alta Impermeabilização	4,37	8,83	4,93	9,96
Média Impermeabilização	1,12	2,26	3,02	6,10
Baixa Impermeabilização	2,84	5,74	4,99	10,08
Muito Baixa Impermeabilização	37,10	74,98	31,93	64,53

A análise da evolução temporal das classes de uso e ocupação do solo para os anos 2008 e 2010, na área de estudo, mostra que houve aumento das classes Área Urbana Não Consolidada Baixa e Área Urbana Não Consolidada Média em 2010. De acordo com os índices de impermeabilização adaptados de Tucci e Machado (1997) e Tucci e Marques (2000), a Área Urbana Não Consolidada Baixa apresenta em média 28% da área da classe impermeabilizada e a Área Urbana Não Consolidada Média apresenta em média 43% de área impermeabilizada.

Considerando-se que essas duas classes classificadas sucessivamente como nível de baixa impermeabilização do solo (28%) e média impermeabilização do solo (43%), tende a evoluir para Área Urbana Consolidada Média. No futuro esta mesma área estará na classificação de nível Alta Impermeabilização e em média 60% da área estará impermeabilizada.

Os dados de ocorrências de inundação disponibilizados pela Defesa Civil de São José dos Campos indicam que houve aumento considerável, no número de ocorrências de inundação na região de estudo conforme Figura 4 e Tabela 03.

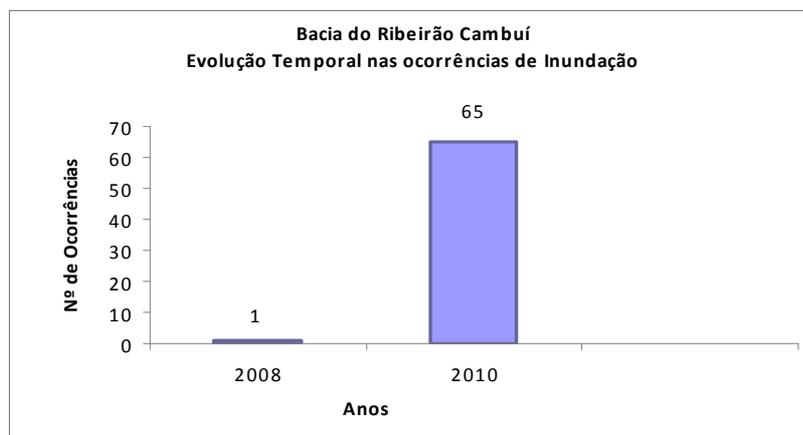


Figura 4: Representação gráfica do número de ocorrências de inundações nos anos 2008 e 2010.

Tabela 03- Distribuição das ocorrências de inundações em bairros da área de estudo para 2008 e 2010.

Nº de ocorrências de Inundação	2008	2010
<b>Bairros</b>		
Jardim do Lago	01	36
Residencial Cambuí	01	02
Sítio Bom Jesus	01	00
Jardim Souto	01	00
Vila Corintinha	01	23
Bairro Sape	01	00
Vila São Benedito	00	01
Putim	00	02
Jardim Uirá	00	01

Fonte: Defesa Civil – PMSJC, (2012).

Os dados apresentados na Tabela 3 demonstram que houve aumento significativo no número de ocorrências de inundações nos bairros Jardim do Lago e Vila Corintinha os quais foram indicados pelas setas na Figura 5.

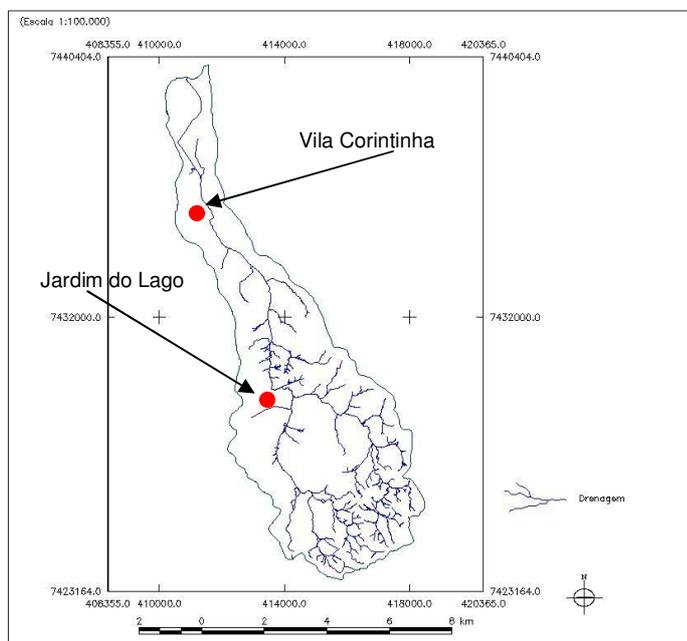


Figura 05 – Indicação da localização do bairro Jardim do lago e Vila Corintinha.

Com base nos resultados apresentados, e pelo incremento de ocorrências de inundações no ano de 2010, conforme Tabela 03, verifica-se um crescimento urbano expressivo dos perímetros urbanizados comparativamente ao ano de 2008 segundo a Tabela 1. Pelo exposto pode-se inferir que o aumento das ocorrências de inundações em 2010 esteja associado ao aumento da impermeabilização do solo a montante da bacia, principalmente no setor centro norte da bacia conforme apresentado na Figura 3 pelos respectivos níveis de criticidade da impermeabilização do solo, a qual conseqüentemente concorre para um maior escoamento superficial das águas pluviais, resultando na sobrecarga da macrodrenagem e assim causando um maior número de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí.

#### 4. Considerações Finais

A metodologia utilizada mostrou-se eficiente como ferramenta para a caracterização principalmente dos perímetros urbanizados e assim permitir estabelecer seus níveis de criticidade quanto à impermeabilização do terreno proporcionando subsídios relevantes para o ordenamento territorial.

Os resultados obtidos permitiram inferir que, mantida a tendência de crescimento urbano na bacia e conseqüentemente a impermeabilização, as inundações continuarão a acontecer anualmente o que fatalmente reverterá na qualidade de vida da população.

Embora os resultados tenham apresentado certos indicadores, associados ao aumento da impermeabilização do solo e suas implicações na macrodrenagem, necessário se faz uma análise ajustada aos índices pluviométricos no período avaliado.

## 5. Referências

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE-SPRING- **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas**. <http://www.dpi.inpe.br/spring>. 2003.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 461p.

Pinho, C. M. D.; Kux, H. J. H.; Almeida, C. M. Influência de Diferentes Padrões de Ocupação do Solo Urbano na Qualidade de Mapeamentos de Cobertura do Solo em Imagens de Alta Resolução Espacial: Estudo de Caso de São José dos Campos (SP). In: Blaschke, T.; Kux, H. (Ed.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores, Métodos Inovadores**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007. 198p. Disponível em: <<http://www.oficinadetextos.com.br>>. Acesso em: 26 mar. 2011.

Pinho, C. M. D. **Análise Orientada a Objetos de Imagens de Satélites de Alta Resolução Espacial Aplicada a Classificação de Cobertura do Solo no Espaço Intra-Urbano: O Caso de São José dos Campos – SP**. 2005. 37p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.23.13.40/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2011.

Prefeitura Municipal de São José dos Campos - Secretaria de Defesa do Cidadão – Defesa Civil. **Ocorrências de Inundação relacionadas ao Ribeirão Cambuí**. São José dos Campos, 2012.

Prefeitura Municipal de São José dos Campos – Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Banco de Dados Geográfico Cidade Viva**. São José dos Campos, 2011. CD-ROM.

Prefeitura Municipal de São José dos Campos. **Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI): Lei Complementar 121/1995**. São José dos Campos: Secretaria de Planejamento Urbano, 1995. Disponível em: <[http://www.sjc.sp.gov.br/spu/plano\\_diretor.asp](http://www.sjc.sp.gov.br/spu/plano_diretor.asp)> Acesso em: 8 nov 2010.

Souza, R.; Valério Filho, M. Análise do crescimento urbano e os impactos na macrodrenagem com o auxílio de geotecnologias. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Ribeirão Cambuí - São José dos Campos - SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4791-4797. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A3TBQS>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

Tucci, C. E. M.; Machado, E. Concepção do Controle de Enchentes na Região Metropolitana de Curitiba. In: Tucci, C. E. M.; Porto, R. L.; Barros, M. T. **Drenagem urbana: Gerenciamento Simulação e Controle**. Porto Alegre: EdUFRGS; ABRH, 1997. p. 27-37.

Tucci, C.E.M.; Marques, D. M. **Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2000.

Valério Filho, M.; Belisário, P. R. Imagens orbitais de alta resolução aplicadas no monitoramento do crescimento urbano e suas conseqüências sócioambientais. **Revista da ANPEGE - Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, v.8, n.9, p.119-135, 2012.