

## **Análise temporal do crescimento urbano em bacias hidrográficas e seus reflexos na macrodrenagem com suporte das geotecnologias**

Mario Valério Filho <sup>1</sup>  
Marcello Alves <sup>2</sup>  
Madalena Niero Pereira <sup>3</sup>  
Cláudia Durand Alves <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Paraíba  
mvalerio@univap.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas – Unicamp  
Instituto de Geociências  
malves@ige.unicamp.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{madalena, durand}@dsr.inpe.br

**Abstract:** The urban growth process in the major Brazilian cities mainly in the highly industrialized areas, have contributed to shorten the gap of the flood frequency, in account of the great increase of impervious areas in the basin and the hazard on the macro drainage system. As a result there have being great social, economic and the ecosystem damages. In this case the geotechnologies has given a great contribution through remote sensing and GIS, to maintain georeferential databanks up to date, and to diagnose the urban perimeters growth in the hydrographic basin. Here we present a methodological approach to a temporal analysis of the dynamics of the growth in the Vidoca River basin, in Sao Jose dos Campos – Sao Paulo – Brazil, in the life time of 1997, 2000, 2003 and 2007. The result of the analysis made possible to measure the actual critical level in the Vidoca Basin in account of the impervious areas growth in this period. The overall growth in the years 2000 – 2007 was not significant, but some areas were significant compared to 1997, contributing to increase the impervious areas and to overflow of the macro drainage.

**Keywords:** urban growth, watershed, geotechnologies, River basin, georeferential databanks.

### **1. Introdução**

No Brasil, em 1940, a população urbana compunha 26,3% do total. Em 2000 ela era de 81,2%. Assim, em 1940 a população que residia nas cidades era de 18,8 milhões de habitantes e em 2000 ela é de aproximadamente 138 milhões (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2000).

O crescimento populacional das grandes cidades brasileiras e o conseqüente aumento da área impermeabilizada nas bacias hidrográficas, o assoreamento dos leitos dos rios, a poluição dos corpos d'água e as deficiências no planejamento da drenagem urbana formam um quadro dos principais problemas que afligem, há algum tempo, os municípios brasileiros.

De acordo com Alves (2006) no Brasil, assim como no mundo, a qualidade e também a disponibilidade dos recursos hídricos está diminuindo e crescendo os conflitos relacionados ao uso. A diminuição da vazão à jusante nos períodos de estiagem e o aumento, de forma crítica, nos períodos de chuva é fruto da utilização e preservação inadequada dos recursos naturais existentes nas bacias hidrográficas.

Genz e Tucci (1995) afirmam que os principais impactos que decorrem do desenvolvimento de uma área urbana sobre os processos hidrológicos estão ligados à forma de ocupação da terra, e também ao aumento das superfícies impermeáveis, em grande parte das bacias que se localizam próximas às zonas de expansões urbanas ou inseridas no perímetro urbano.

Um dos maiores desafios do planejamento do uso da terra é o que se refere ao uso sustentável do ambiente que se baseia em uma dinâmica de transformação com igual ênfase nas dimensões ambientais e humanas da paisagem e na consideração de intervalo temporal que abranja diferentes gerações humanas (Forman, 1995).

Neste sentido a utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens e fotografias aéreas, associadas aos SIG's torna-se de fundamental importância, pois, contribuem com a análise da dinâmica temporal da transformação de determinadas áreas tais como as bacias hidrográficas. De acordo com Campana e Tucci (1994), as bacias urbanas necessitam serem planejadas com seu desenvolvimento futuro levado em consideração. Contudo, a falta de um planejamento adequado e as irregularidades na ocupação descontrolada tornam essa tarefa bastante difícil.

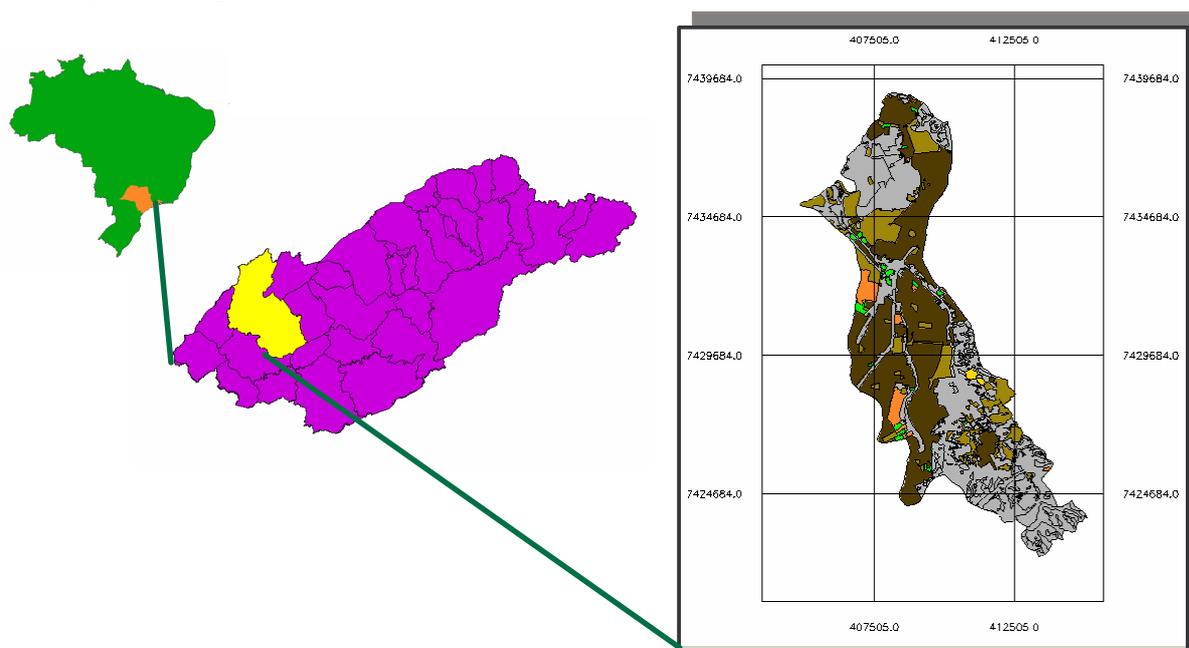
Penteado (2003) afirma que a visão mecanicista do homem deve dar lugar à visão da teoria da termodinâmica onde a lei da entropia, as quais, devem ser derrotadas pelos homens necessitam ser considerada em todos os estudos. Afinal, a segunda lei da termodinâmica apresenta o conceito de entropia como uma realidade vigente aos nossos dias, onde, um sistema natural sempre caminha da ordem para a desordem e este processo é sem dúvida muitas vezes irreversível.

Assim, o presente trabalho apresenta uma abordagem metodológica apoiada no uso de dados de sensoriamento remoto e dos sistemas de informação geográfica, para análise temporal da dinâmica do crescimento urbano na bacia do Ribeirão Vidoca, nas datas de 1997, 2000, 2003 e 2007 e seus reflexos na macrodrenagem no município de São José dos Campos.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de Estudo

O Rio Paraíba do Sul atravessa todo o município de São José dos Campos segundo a direção NE. É na sua margem direita que se localiza a Bacia do Ribeirão Vidoca, que possui uma área de aproximadamente  $60.0 \text{ km}^2$ , (Figura 1) Esta bacia espelha o processo de crescimento que o município vem apresentando nas últimas décadas.



**Figura 1.** Localização da área de estudo, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Vidoca – São José dos Campos – São Paulo - Brasil.

A Bacia do Ribeirão Vidoca apresenta atualmente uma forte tendência de urbanização, sem ter, contudo, uma política de gerenciamento que procure evitar que, pelo crescimento e sem uma visão mais abrangente da macrodrenagem, venha a ocorrer a mesma situação que se defronta a grande maioria dos municípios brasileiros com inundações e poluição dos corpos d'água.

A atual legislação municipal não possui diretrizes que impeçam que esse adensamento ocorra de forma caótica. A aprovação dos projetos de drenagem de loteamentos, indústrias, etc., com grandes áreas impermeabilizadas, não levam em consideração o impacto desses empreendimentos na macrodrenagem, provocando assim a sobrecarga do sistema de drenagem com o aumento das vazões e redução do tempo de concentração da bacia. Assim, frequentemente, há necessidade de serem feitos alargamentos, canalizações, substituição de galerias e pontes, etc. para comportar os aumentos de vazão.

## **2.2. Materiais**

Na realização do presente trabalho, foram utilizados os seguintes materiais como segue: Cartas topográficas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo na escala 1:10.000, obtidas a partir da restituição aerofotogramétrica de aerofotos obtidas em 1977 pela empresa Terrafoto S/A na escala 1:10.000; Fotografias aéreas coloridas do levantamento aerofotogramétrico realizado pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais na escala aproximada 1:10.000 em 1997; Ortofotos coloridas dos anos de 2000 e 2003, obtidas junto à Prefeitura Municipal de São José dos Campos (PMSJC) e imagens QuickBird (PMSJC, 2007) e Microcomputador equipado com mesa digitalizadora marca Digigraf, modelo VanGogh, tamanho A1 e software SPRING (Câmara, 1996).

## **2.3. Metodologia**

Os dados em formato analógico, relativos aos anos de 1997, 2000 e 2003, 2007 em escala aproximada de 1:10.000, foram analisados e interpretados a partir do mapeamento da mancha urbana por classes nominais quanto à impermeabilização do solo e o mapeamento do uso do solo no entorno da mancha urbana, estes compilados segundo Valério Filho et al. (2003).

Os dados obtidos a partir da interpretação foram digitalizados e compilados em ambiente SPRING, proporcionando a elaboração da base cartográfica digital da área de estudo.

Em ambiente SPRING foi elaborada a base cartográfica digital contendo a espacialização dos perímetros urbanizados, segundo suas classes de adensamento. Posteriormente, avaliou-se o comportamento das classes de adensamento em diversos setores da bacia hidrográfica.

Os dados levantados diante desta análise multitemporal refletem a dinâmica ocupacional da bacia hidrográfica através dos anos. A composição de ambientes de maior criticidade quanto a impermeabilização das superfícies do terreno para a bacia hidrográfica se dá pelo avanço de áreas e pelo adensamento urbano em áreas já consideradas críticas.

Destaca-se também a consolidação de áreas que em datas posteriores se apresentaram com menores taxas de adensamento. Corroborando assim com escoamento superficial, assoreamento de margens e conseqüentemente inundações à jusante.

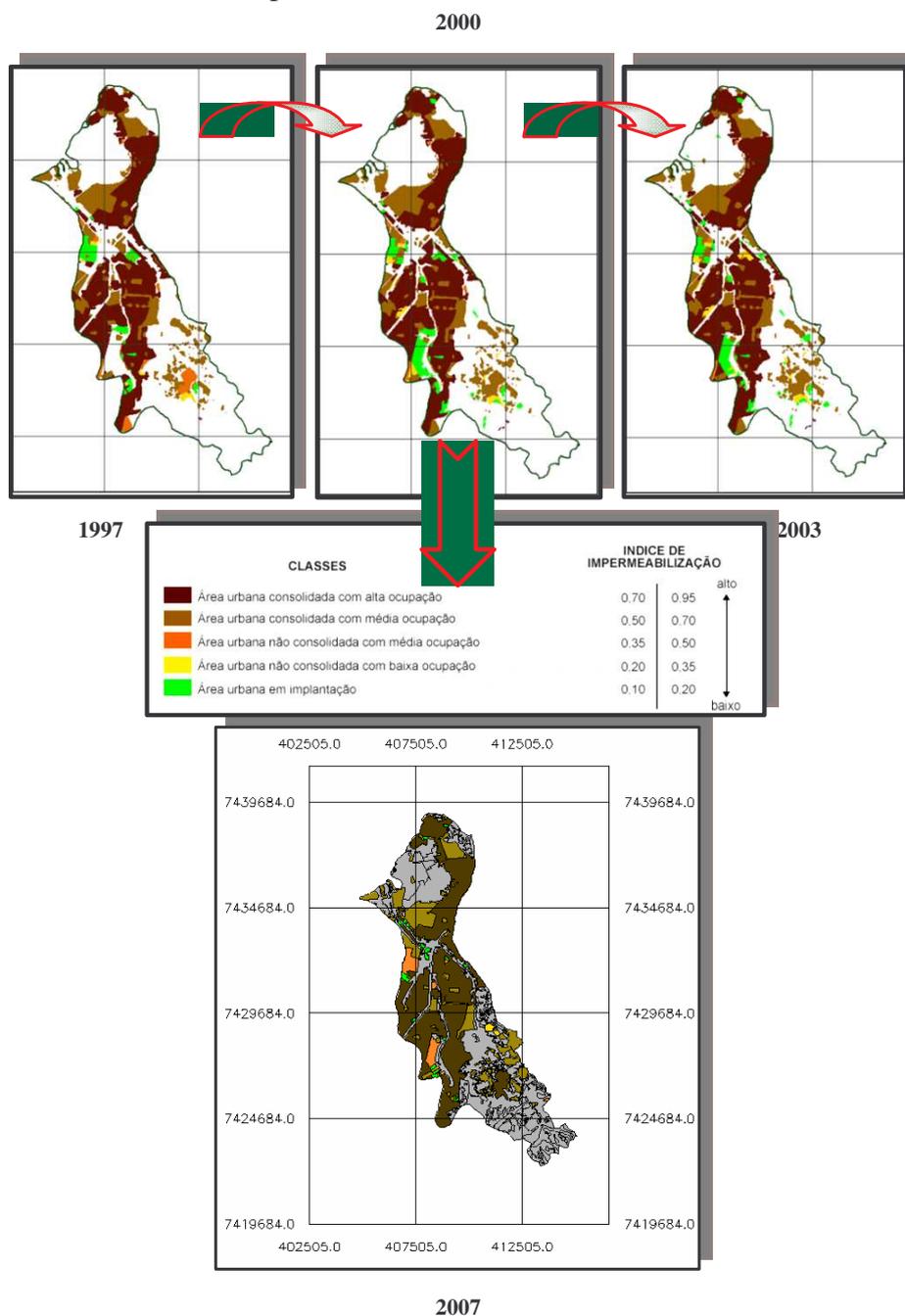
## **3. Resultados**

Com base na abordagem metodológica elaborada segundo Valério Filho et al. (2002), foram mapeados os perímetros urbanos, segundo suas classes de adensamento os quais foram associados a cinco níveis de impermeabilização do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classes de adensamento urbano mapeadas e seus respectivos índices de impermeabilização.

Classes de ocupação urbana	Índice de impermeabilização
• Área Urbana Consolidada com Taxa Alta de ocupação	0,70 / 0,95
• Área Urbana Consolidada com Taxa Média de ocupação	0,50 / 0,70
• Área Urbana Não Consolidada com Taxa Média de ocupação	0,35 / 0,50
• Área Urbana Não Consolidada com Taxa Baixa de ocupação	0,20 / 0,35
• Área Urbana em Implantação:	0,10 / 0,20

Os resultados do mapeamento das classes de ocupação urbana para os períodos analisados podem ser visualizados na Figura 2. A Tabela 2 expressa as áreas ocupadas pelas mesmas classes nas diferentes datas mapeadas.



**Figura 2.** Distribuição espacial das diferentes classes de ocupação urbana nos período analisados e seus potenciais de infiltração relativo.

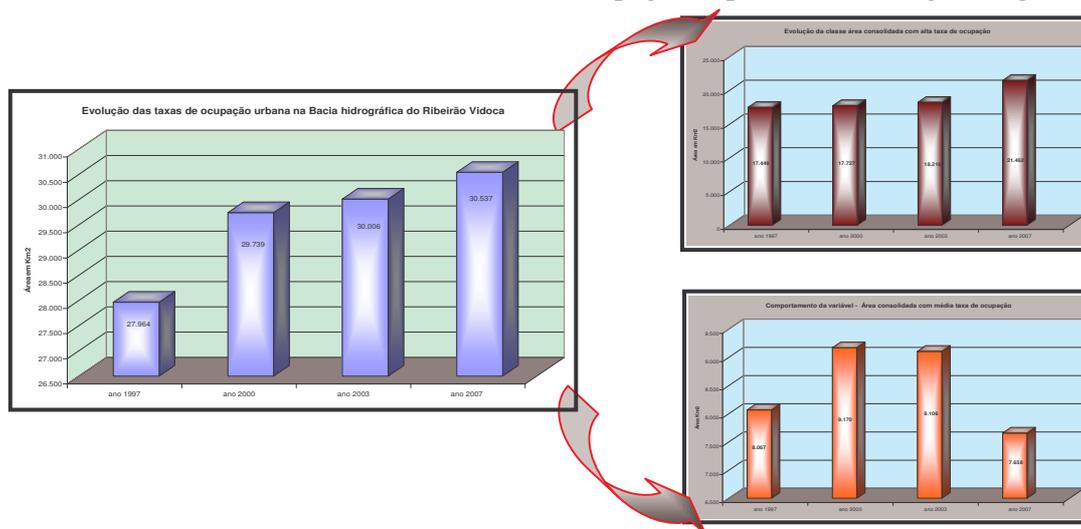
**Tabela 2.** Quantificação das classes de ocupação urbana no período analisado

<b>BACIA DO RIBEIRÃO VIDOCA - DINÂMICA DA OCUPAÇÃO URBANA: 1997, 2000, 2003, 2007</b>				
<b>Classes de ocupação urbana</b>	<b>1997(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2000(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2003(km<sup>2</sup>)</b>	<b>2007 (km<sup>2</sup>)</b>
Área consolidada com alta taxa de ocupação (km <sup>2</sup> )	17,448	17,727	18,216	21,462
Área consolidada com média taxa de ocupação (km <sup>2</sup> )	8,067	9,170	9,106	7,658
Área não consolidada com baixa ocupação (km <sup>2</sup> )	0,302	0,629	0,682	0,204
Área não consolidada com média ocupação (km <sup>2</sup> )	1,050	0,298	0,246	1,416
Área em implantação (km <sup>2</sup> )	1,095	1,912	1,753	0,737
<b>Área total ocupada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>27,964</b>	<b>29,739</b>	<b>30,006</b>	<b>30,537</b>

Com base nos resultados obtidos, foi possível espacializar e avaliar temporalmente a dinâmica do crescimento urbano na bacia do Ribeirão Vidoca no município de São José dos Campos - SP, para as datas de 1997, 2000, 2003 e 2007 principalmente identificar os setores da bacia que apresentam indícios de um maior comprometimento. Como a sobrecarga na macrodrenagem, a qual por sua vez está diretamente relacionada ao maior ou menor percentual de áreas impermeabilizadas na área de estudo.

A análise dos dados tornou possível constatar um aumento muito pequeno dos valores referentes à ocupação nas áreas da bacia hidrográfica estudada para os anos avaliados. No entanto, para um melhor detalhamento dos dados realizou-se uma análise segundo as variações comportamentais das classes de adensamento segundo suas interrelações. Buscando-se assim compreender a dinâmica espacial apresentada na bacia para os anos estudados.

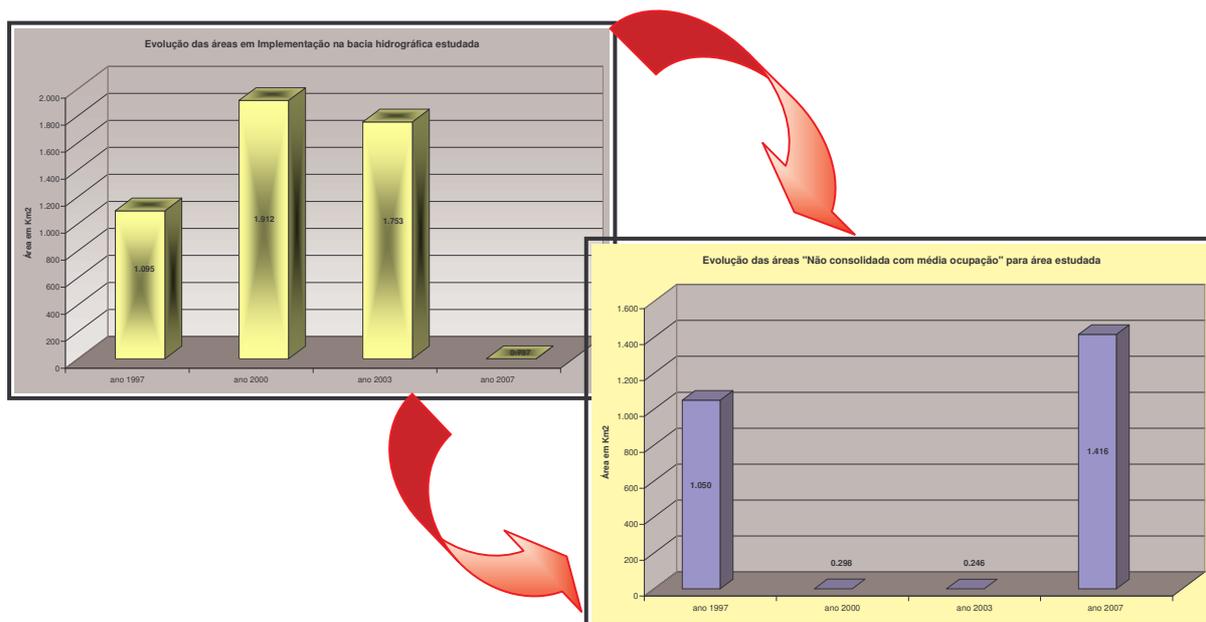
A figura 3 representa a evolução da ocupação urbana na bacia hidrográfica do Ribeirão Vidoca, São José dos Campos, São Paulo, Brasil e suas possíveis interrelações espaciais. Com auxílio dos gráficos pode-se observar que as áreas referentes à classe “Área consolidada com alta taxa de ocupação” vêm apresentando um aumento significativo e crescente enquanto as áreas da classe “Consolidada com média taxa de ocupação” apresentam retração (Figura 3).



**Figura 3.** Gráficos representando os valores globais de áreas ocupadas pelos diferentes tipos de classes de adensamento e a dinâmica das classes: Área consolidada com alta taxa de ocupação e Área consolidada com média taxa de ocupação.

Pode-se avaliar que muitas áreas estão se consolidando no que se refere ao adensamento urbano. Poucos espaços novos foram ocupados, isto devido às limitações impressas pelo relevo e falta de infra-estrutura destas áreas. Considera-se este fato um agravante, pois a tendência espacial de ocupação de áreas já adensadas e valorizadas é a “Verticalização” que comprometeria a dinâmica das vazões locais e, por conseguinte colocaria em risco as áreas localizadas à jusante da bacia.

Por outro lado observou-se também a retração espacial das áreas em implementação para bacia estudada e, por conseguinte o aumento o aumento das áreas caracterizadas por ocupação não consolidada com média taxa de ocupação (Figura 4).



**Figura 4.** Gráficos representando a dinâmica das classes: Área em implantação / Área não consolidada com média ocupação

A análise dos gráficos caracteriza uma tendência à ocupação da área estudada centrada na dinâmica de consolidação de estruturas espaciais.

Não há um acréscimo de áreas, mas sim um adensamento contínuo de espaços que em prazos de 4 anos deixam de ser lotes abertos (em implantação) para se tornarem áreas consolidadas com taxas médias de ocupação.

Pelos resultados apresentados no período estudado pode-se também constatar que houve um aumento significativo das áreas não consolidadas e as áreas em implantação durante os anos de 1997 e 2000.

Estas áreas no transcorrer das análises concorrerão para o agravamento dos problemas de vazão no segmento médio da bacia, pois as áreas em implantação que apresentaram aumento significativo de 75% durante os anos de 1997 e 2000 deram lugar a áreas com adensamento urbano mais consolidado e, o mesmo pode-se dizer das áreas não consolidadas com baixa taxa de ocupação. Estas com um valor superior a 108% expansão para o mesmo período.

Destaca-se também que as áreas classificadas como de alta e média taxa de ocupação perfazem atualmente o valor aproximado de 77% da área permitida para ocupação urbana. Valor instituído pela Lei Municipal 165/97, contudo a bacia atualmente se apresenta com 50,77% das áreas ainda livres de ocupação.

Por outro lado, as áreas que ainda não foram ocupadas, estão situadas à montante e pelo fato destas serem ocupadas por terrenos mais acidentados irão fatalmente sobrecarregar as

vazões à jusante. E também o estabelecimento de fortes tendências de adensamento urbano consolidado o que tornaria as ações sobre o espaço quase que irreversíveis ou muito dispendiosas.

#### 4. Considerações finais

As análises realizadas demonstraram que a abordagem metodológica utilizada comprovou ser de grande valia para estudos relacionados aos processos de crescimento urbano e suas conseqüências na impermeabilização dos terrenos.

Este fator proporcionou a espacialização dos perímetros urbanos de maior criticidade e desta forma oferecem indicações importantes para as ações mitigadoras de ocupação local. Fica também demonstrado, que o uso das geotecnologias se oferecem como ferramentas eficientes para armazenamento, tratamento, cruzamentos e espacialização de informações da superfície terrestre, as quais proporcionam subsídios relevantes para o planejamento urbano, bem como, para estabelecimento do plano diretor de macrodrenagem.

#### 5. Bibliografia

- CAMPANA, N.A.; TUCCI, C.E.M. (1994). “*Estimativa de Áreas Impermeáveis de Macro Bacias Urbanas*”. *Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, Vol.12, n.2.*
- FORMAN, Richard T.T. (1995). “*Land Mosaic: The Ecology of Landscapes and Regions*”. Cambridge, Cambridge University Press.
- GENS, F.; TUCCI, C.E.M. (1995). “*Infiltração em Superfícies Urbanas*”. *Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, Vol. 13, n.1.*
- TUCCI, C.E.M. (1997). “*Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 2, n. 2.*
- TUCCI, C. (2000). “*Coefficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH. Porto Alegre:ABRH, v. 5, n.1. p.61-68.*
- TUCCI, C.; MARQUES, D. (Orgs) (2000). “*Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*”. Porto Alegre: UFRGS, 558 p.
- VALÉRIO FILHO, M. et al. (2003). “*Caracterização de Bacias Hidrográficas Impermeabilizadas pelo Processo de Urbanização com Suporte das Geotecnologias*”. in *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte-MG. Abril de 2003. CD-ROM.*
- ALVES COSTA, MARCELLO. “*Seleção de Áreas Potenciais para Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, São Paulo – Brasil*”. *Dissertação de Mestrado Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Instituto de Geociências, Campinas – SP, [s.n], 2006, N° 355/2006.*
- Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics. “*SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling*”. 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE. **Censo demográfico**, 2000.
- SOUSA JÚNIOR, WILSON CABRAL DE. **Gestão das águas no Brasil: reflexões, diagnósticos e desafios**. Tese de Doutorado. Economia. Instituto de Economia da Unicamp, 2000.
- PENTEADO, H. **Ecoeconomia. Uma nova abordagem**. São Paulo: Lazuli Editora, 2003. p.179 – 236;