

## Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP

Walter Manoel Mendes Filho  
Iria Fernandes Vendrame  
Ronaldo Gonçalves de Carvalho

Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA Praça Mal. Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias  
CEP12228-900 São José dos Campos - SP.  
{wmmendes, hiria, ronaldo}@ita.br

**Abstract.** The main objective of this work is supplying data to analyze the processes of change in the surface flow dynamics in São José dos Campos town. The proposed methodology in the development of this paper is the use of Geographic Information System (GIS) for the attainment of characteristic parameters for an integration of the data to the hydrologic model of the Soil Conservation Service (SCS), from the U. S. Department of Agriculture (USDA). The method for estimating runoff, determines part of the precipitation that results in the runoff and its volume and distribution with the time. It has as main variable the runoff Curve Number (*CN*) that is estimated on the basis of soil, land cover informations and humidity condition. The Sartori *et al.*, (2005b) classification suggested for brazilian soils was used to study the model, mapping the potential of pluvial water retention in the town.

**Palavras-chave:** urbanization, geographic information system (GIS), SCS hydrologic model, urbanização, sistema de informações geográficas (SIG), modelo hidrológico SCS.

### 1 Introdução

O aumento do padrão de vida e o crescimento da população implicam em aumento do número de casas construídas, aberturas de novas estradas, e outras obras de infra-estrutura que envolve movimentação de terra. Ao retirar a camada de vegetação natural do solo para a realização desses serviços, o homem proporciona um incremento nos processos erosivos, além de diminuir a parcela da água da chuva que infiltra num solo.

Esses avanços na urbanização podem provocar grandes impactos sobre o sistema de drenagem, modificando de forma acelerada as características naturais de determinada região. Dentre os principais impactos tem-se o risco de inundações, uma vez que as construções interpõem estruturas pouco permeável entre o solo e a chuva, fazendo com que o escoamento superficial aumente e a infiltração diminua.

Diante do cenário atual de escassez de recursos hídricos, surge a necessidade de se considerar a influência do uso e do tipo de solo sobre a geração do escoamento superficial, seja na análise do potencial do escoamento num futuro próximo, ou no planejamento e conservação de microbacias.

O modelo chuva-vazão desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), órgão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), é muito utilizado para estimar o número da curva de escoamento superficial “*CN*” e também a distribuição e o volume do escoamento superficial de uma área.

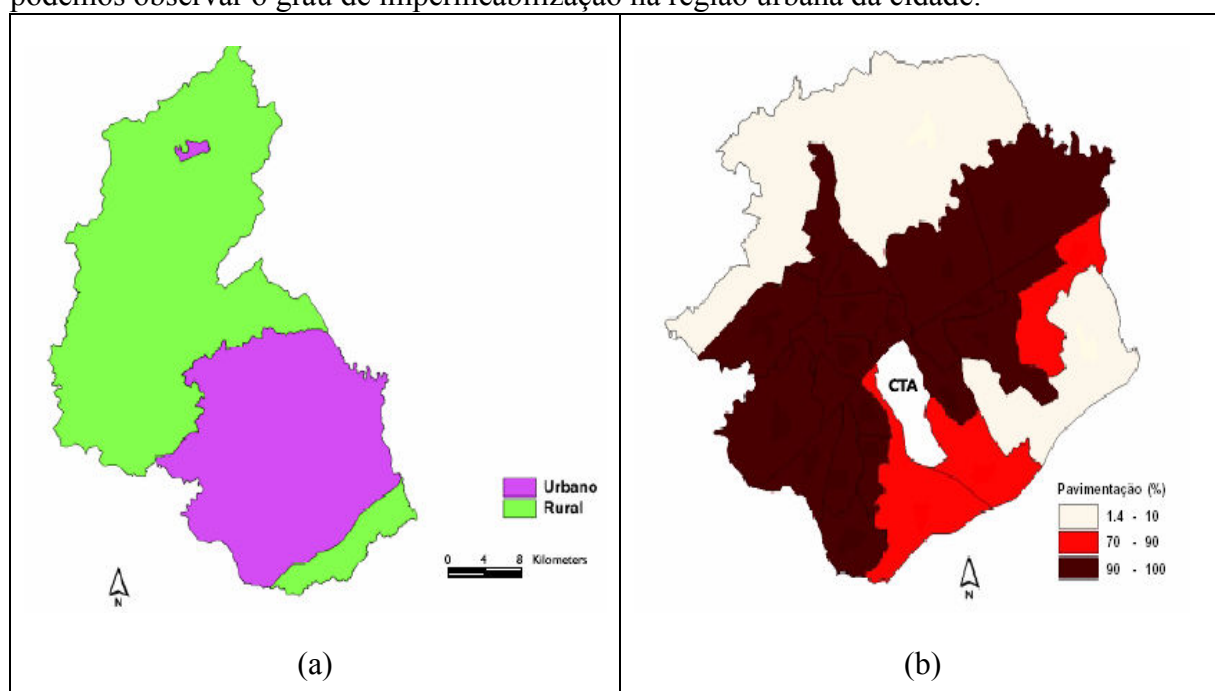
Para atender tais finalidades, a classificação hidrológica do solo é de fundamental importância. Ocorre que esta não foi desenvolvida para os solos tropicais como os do Brasil. Assim, nesse estudo para a aplicação do modelo do SCS foi utilizada a sugestão de Sartori et al. (2005b) para a classificação hidrológica dos solos do Brasil, que teve como base o trabalho de Lombardi Neto et al. (1989).

## 2. Área de estudo

O município de São José dos Campos localiza-se no médio vale do rio Paraíba do Sul, na província geomorfológica denominada Planalto Atlântico, a 23°13'53" de latitude sul e 45°51'21" de longitude oeste, com altitude média de 600 metros (Lopes, 2005).

O Censo Demográfico 2000, realizado pelo IBGE, apontou um total de 532.717 habitantes urbanos. De acordo com dados da Prefeitura Municipal de São José dos Campos (2006), a estimativa de população para o ano de 2006 é de 610.965, considerando habitantes rurais e urbanos de São José dos Campos.

De acordo com a pesquisa de instrumentação do planejamento urbano e avaliação do déficit habitacional em São José dos Campos - 2003, publicada no Atlas das condições de vida em São José dos Campos (2004), a área urbana do município de São José dos Campos possui 92% de domicílios situados em vias pavimentadas com guias e sarjetas. Na **Figura 1** podemos observar o grau de impermeabilização na região urbana da cidade.



**Figura 1:** Município de São José dos Campos (a), e percentagem de domicílios urbanos localizados em vias pavimentadas (b). (Fonte: Atlas das condições de vida em São José dos Campos, 2004).

Segundo a mesma pesquisa, o município é cortado por uma malha hídrica bastante significativa, que faz com que existam algumas áreas de inundação. Entretanto, 92% do total de domicílios urbanos do município estão localizados a mais de 100 metros de distância de rios ou córregos.

No contexto ambiental, o município enfrenta problemas relativos ao meio físico como: escorregamento, erosão, inundação, alagamento, recalques, nível d'água raso, poluição do solo e da água, expansão, desagregação e perda de fertilidade do solo, etc.

## 3.O Modelo hidrológico do SCS

O *Soil Conservation Service* (SCS), em 1972 desenvolveu um método para o cálculo das perdas do volume de chuva, segundo as características geomorfológicas e físicas de uma determinada bacia. O método do Número de Curva "CN" dentre outras utilidades, estima o excesso de precipitação responsável pela produção do escoamento superficial,

fundamentando-se numa função de precipitação cumulativa, tipos de solo, categorias de uso e ocupação do solo e de considerações de umidade, usando a equação (01);

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (01)$$

Sendo que  $Pe$  é o excesso de precipitação acumulada no tempo ( $t$ ),  $P$  é a quantidade de precipitação total no tempo ( $t$ ),  $Ia$  representa as perdas iniciais e  $S$  é a retenção máximo potencial.

O escoamento superficial direto é dado pela equação a seguir;

$$Q = \frac{(p - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{para } P > 0,2S \quad (02)$$

O valor de  $S$  depende do tipo e da ocupação do solo e pode ser determinado por tabelas próprias.

A quantidade de  $0,2S$  é uma estimativa de perdas iniciais, devidas à interceptação e retenção em depressões. Por esta razão, impõe-se a condição  $P > 0,2S$ .

### 3.1 Parâmetros “S” e “CN”

Para o cálculo do escoamento direto  $Q$  a partir de uma conhecida precipitação  $P$ , há necessidade de uma estimativa média para a variável desconhecida  $S$ . Com este propósito, visando uma aplicação mais prática da equação, foi elaborado pelo (SCS) o número da curva de escoamento superficial “CN”. Este parâmetro adimensional representa os efeitos da combinação do grupo hidrológico do solo com o tipo de cobertura e tratamento da terra sobre o escoamento superficial. Estas curvas foram numeradas de 0 a 100 e “S” está relacionado ao “CN” por;

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (03)$$

Os valores do parâmetro “CN”, tradicionalmente encontrados, podem variar desde 100 (limite superior), para o caso de estar se analisando uma superfície de corpo d’água, até aproximadamente 30 (limite inferior), onde o tipo de solo predominante é permeável com alta taxa de infiltração.

A determinação do “CN” para uma condição de umidade II (situação média na época das cheias, com as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizando de 15 a 40 mm) pode ser realizada por meio da tabela com os valores específicos em função da cobertura e do tipo hidrológico do solo.

## 4 Classificação hidrológica dos solos

Em Hidrologia, os solos são classificados de acordo com a suscetibilidade a erosão e a produção de escoamento. Definida a finalidade, os solos podem ser classificados segundo Ogrosky e Mockus (1964), *apud* Sartori et al. (2005a), de acordo com suas propriedades hidrológicas independentemente da cobertura e da declividade da bacia.

Na classificação original, o (SCS) reuniu os solos dos Estados Unidos em quatro grandes grupos baseando-se na premissa de que os perfis de solo com características semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) responderão de forma semelhante a uma chuva de grande duração e intensidade considerável, ou seja, conforme a capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo a cada um deles atribuído uma letra A, B, C ou D.

**Tabela 1: Grupos hidrológicos e suas características.**

Grupo hidrológico	Características	Capacidade de infiltração
A	Solos arenosos, profundos e bem drenados.	$> 7,6 \text{ mm h}^{-1}$
B	Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico	3,8 e $7,6 \text{ mm h}^{-1}$
C	Solos mais argilosos que aqueles do grupo B, com baixa permeabilidade.	1,3 e $3,8 \text{ mm h}^{-1}$
D	Solos com argilas pesadas, muito impermeáveis.	$< 1,3 \text{ mm h}^{-1}$

Fonte: Barreto e de Sousa, 2003.

Observa-se que na definição dos grupos hidrológicos do solo apresentada pelo (SCS), o maior enfoque está na textura do solo. Segundo Sartori et al. (2005a), isso induz a maioria dos usuários do método no Brasil a considerar apenas a textura superficial do solo e enquadrá-los em um dos grupos hidrológicos usando a classificação original apresentada pelo (SCS).

Uma característica importante dos solos localizados no estado de São Paulo, região de clima tropical, é o fato de que os solos argilosos proporcionam uma boa drenagem de água (Lombardi Neto et al. 1991), diferente do que acontece nos solos dos Estados Unidos, local onde o modelo *CN* foi concebido e calibrado. (Barreto e de Sousa, 2003)

De acordo com Sartori (2004), a classificação proposta por Lombardi Neto et al. (1989) é mais criteriosa, levando em consideração a profundidade, a textura, o gradiente textural entre o horizonte superficial e sub-superficial, a porosidade dos solos e a atividade da argila que quanto mais alta maior o grau de expansão do solo.

Assim, com o intuito de corrigir as distorções entre classificações, nesse estudo utiliza-se a classificação estendida da proposta de Lombardi et al. (1989), elaborada por Sartori et al. (2005a).

## **5 Procedimentos Metodológicos**

Na fase inicial dos estudos buscaram-se os dados necessários para a montagem do banco de dados, que foi obtido em sua maioria através do banco de dados Cidade Viva (2003), da Prefeitura Municipal de São José dos Campos.

O mapa de pedologia do estado de São Paulo por estar em formato de mapa cadastral, foi espacializado em temático. Gerando assim um mapa pedológico de São José dos Campos, foi feito então, uma reclassificação para gerar um mapa com os grupos hidrológicos dos solos da cidade. Essa reclassificação, porém, já conta com os novos critérios sugeridos por Sartori et al., (2005a).

Com o cruzamento dos mapas de grupos hidrológicos encontrados na cidade de São José dos Campos e uso da terra (este disponível no banco de dados Cidade Viva), obteve-se um mapa numérico com valores de “*CN*” para toda a cidade.

Por fim, através de operações matemáticas, determinou-se um mapa com variações no potencial de retenção de água pluvial no solo.

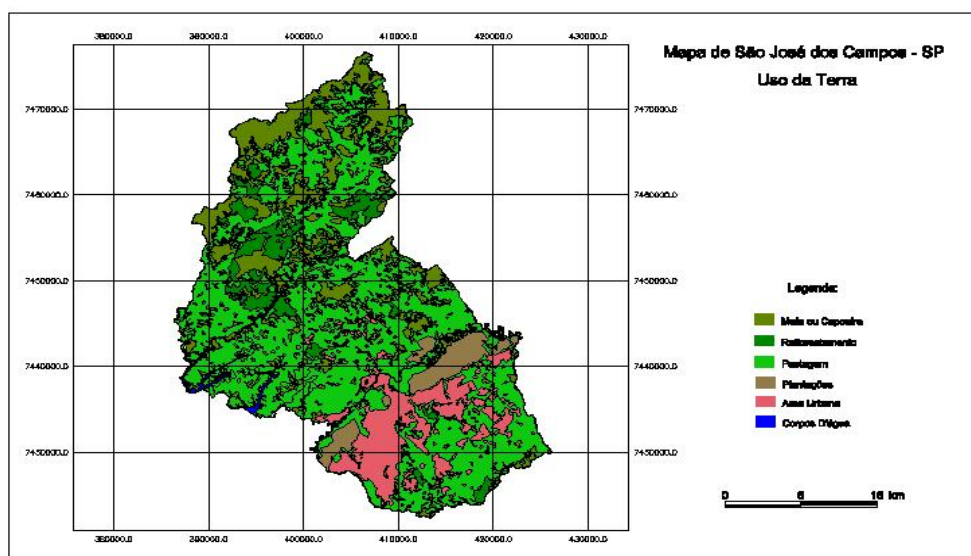
Os dados de precipitação e a rede de drenagem contendo rios principais e secundários também seriam necessários, para entrar no modelo (SCS) para estimativa de escoamento superficial, no entanto este não foi objetivo deste estudo.

## 6 Discussão dos resultados

### 6.1 Situação atual de uso e ocupação do solo

Em termos de uso e cobertura vegetal natural das terras da cidade, observa-se uma predominância de áreas não urbanizadas principalmente área de pastagens (**Figura 2**), indicando a possibilidade futura de que a expansão urbana venha ocorrer nessa região.

Tal situação requer maior atenção por parte do poder público, para a elaboração de medidas para orientar o planejamento das ações de prevenção relacionadas ao impacto ambiental nos recursos hídricos, causado pelo acentuado crescimento urbano que essa área estará sujeita.



**Figura 2:** Mapa de uso e ocupação do solo. (Fonte: Banco de dados Cidade Viva, 2003)

### 6.2 Implementação do modelo SCS

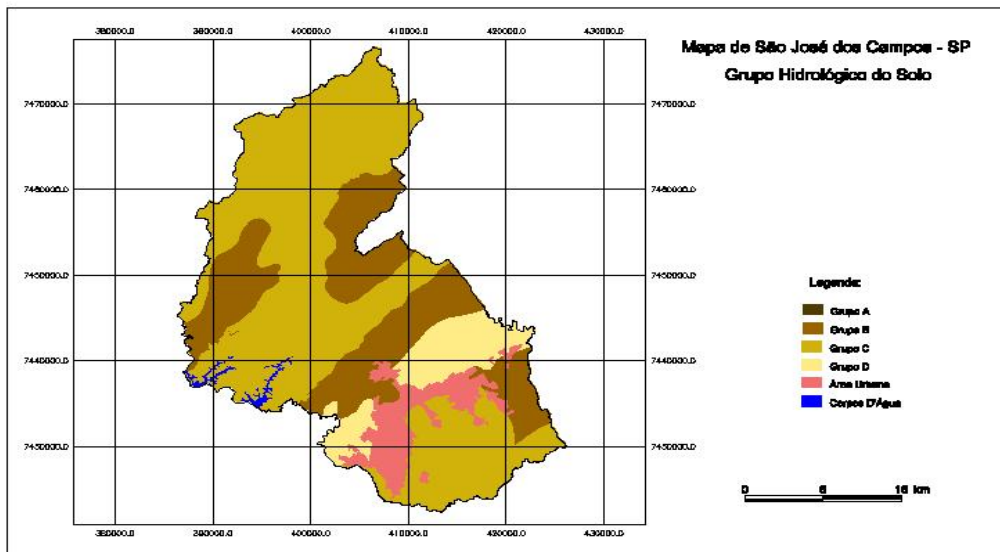
O modelo chuva-vazão do (SCS) é simples e muito aplicado no dia a dia da engenharia. Dentre suas utilidades, está a estimativa de número da curva de escoamento superficial “CN” a partir de dados de uso, tipo e umidade antecedente do solo.

Ocorre que no Brasil, encontram-se muitas falhas na estimativa desse valor de “CN”, que é baseada na classificação hidrológica do solo. Tais falhas devem-se basicamente ao fato de existirem no país, solos que não se enquadram nas definições dos grupos hidrológicos inicialmente definidos pelo (SCS) para os Estados Unidos.

Segundo Sartori et al. (2005b), o complexo hidrológico solo-cobertura da terra é a parte fundamental para a composição do “CN” médio da bacia e este a principal variável para estimar a chuva excedente aplicando a metodologia do (SCS).

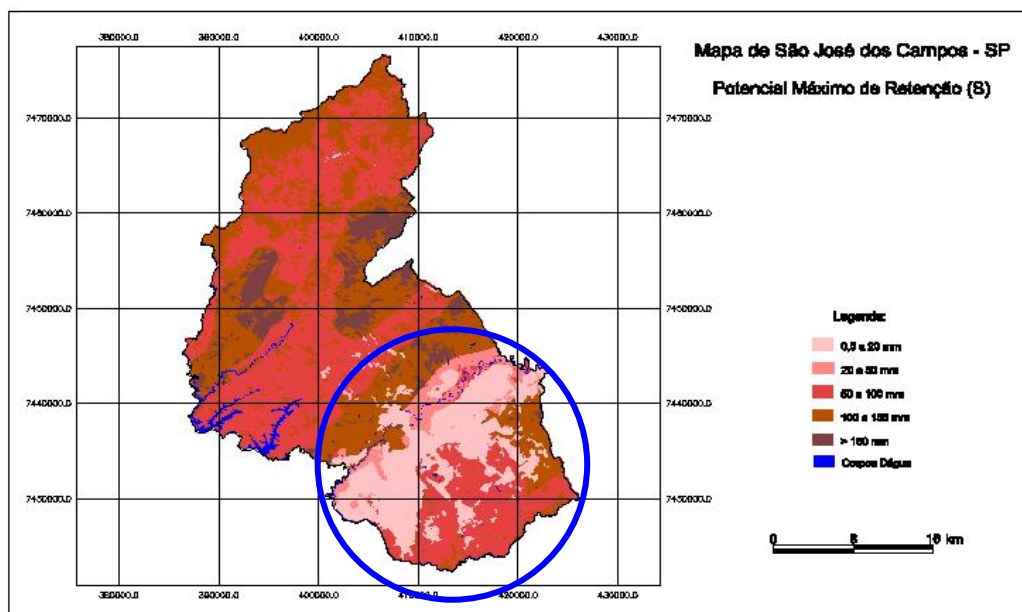
Em função do mapa pedológico do município de São José dos Campos, estabeleceu-se uma reclassificação, resultando no mapeamento dos grupos hidrológicos. Conforme se observa na **Figura 3**, na cidade não há ocorrência de solos pertencentes ao grupo A.

Os solos do grupo C, predominante na cidade, caracterizam-se em solos barrentos, com teor de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis. No grupo D, os solos tem na sua composição de 30 a 40% de argila total, com camada densificada a uns 50 cm de profundidade ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.



**Figura 3:** Mapeamento dos grupos hidrológicos.

Cruzando o mapa temático de uso e ocupação do solo, com o mapa dos grupos hidrológicos, obteve-se o mapa temático de “CN”, de onde através de operação de ponderação gerou-se uma grade regular com os valores de “CN”, para então se implementar uma operação matemática pontual e gerar uma grade regular agora com os valores de potencial máximo de retenção “S”.

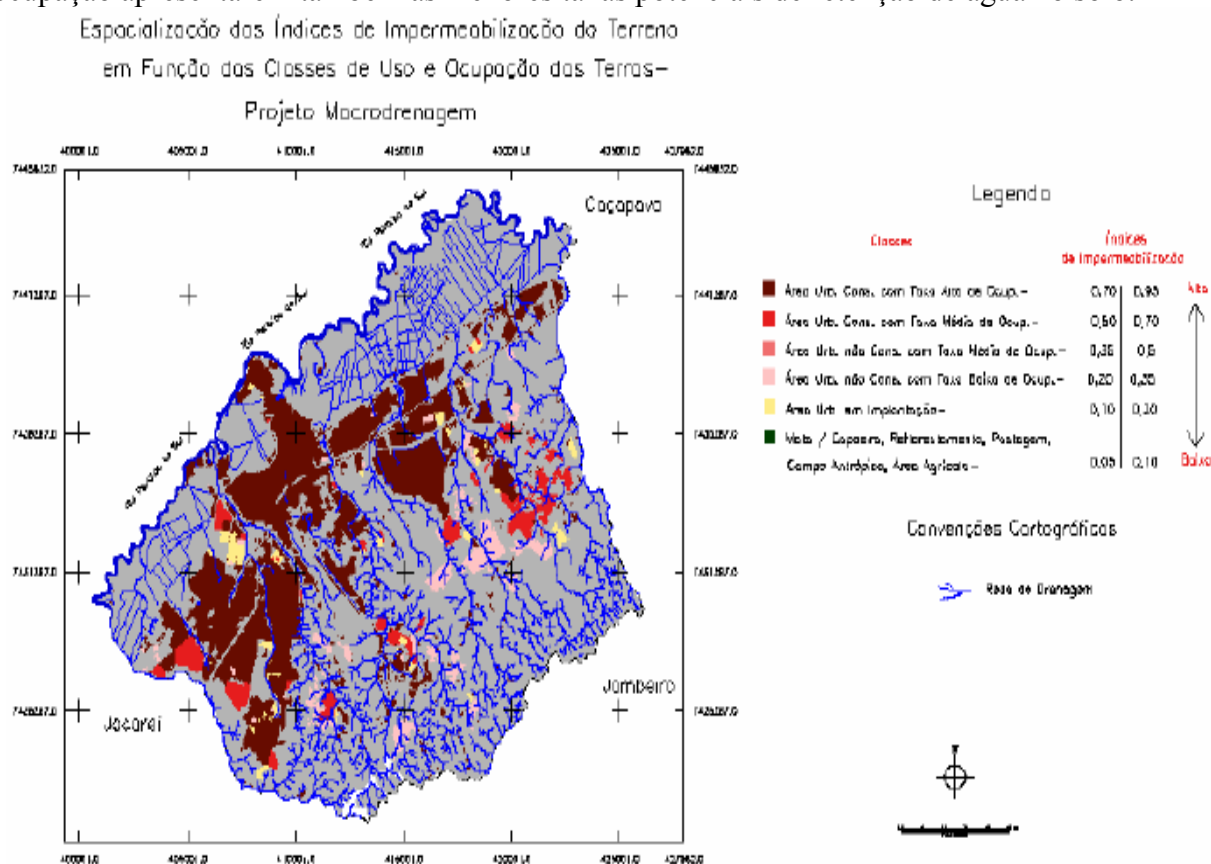


**Figura 4:** Mapeamento do potencial máximo de retenção de água no solo, em destaque área urbana.

Feito a operação de fatiamento nesse mapa, obteve-se então o mapa de “S”. Conforme observamos em destaque na **Figura 4**, boa parte da área urbana da cidade está com esse potencial de retenção de água no solo reduzido, condição propícia então para o aumento de escoamento superficial, enchentes, erosões e assoreamentos de cursos d’água.

Analisando agora a região em detalhe na **Figura 4**, correspondente a área urbana do município de São José dos Campos, e a **Figura 5**, com os índices de impermeabilização obtidos por Valério Filho et al. (2005) observa-se que a maior parte da área com menor potencial de retenção corresponde à região com altas taxas de ocupação urbana.

Outro ponto importante dessa análise é o fato de as regiões adjacentes à de alta taxa de ocupação apresentarem também as menores taxas potenciais de retenção de água no solo.



**Figura 05:** Mapa com índices de impermeabilização de São José dos Campos. (Fonte: Valério Filho et al. 2005)

## 7 Conclusões

É de fundamental importância se avaliar o potencial máximo de retenção de águas pluviais no solo, uma vez que a impermeabilização de áreas urbanas leva a um acréscimo significativo do número de vezes em que a bacia produz escoamento superficial, implicando num aumento das velocidades de escoamento, e da capacidade de arraste de cargas poluidoras.

O estudo de Sartori et al. (2005a) concluiu que no Brasil existem solos argilosos que se comportam de maneira diferente daqueles para onde a classificação hidrológica do solo foi primeiramente desenvolvida. Assim, a implementação dessa classificação apresenta resultados mais coerentes com as propriedades hidráulicas dos solos brasileiros.

Dessa forma, esse estudo vem ao encontro de tais esforços, em poder avaliar com maior precisão o volume de escoamento superficial excedente.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa do Programa de Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.

## Referências bibliográficas

ATLAS DAS CONDIÇÕES DE VIDA EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente de São José dos Campos. Julho, 2004.

Barreto Neto, A. A. de Sousa Filho, C. R. **Modelagem dinâmica de escoamento superficial**. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – **Censo 2000**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: Set. 2006.

Lopes, W. A. B. **Análise comparativa dos impactos hidrológicos causados pelo adensamento urbano nas bacias do rio Pararangaba e Ribeirão Vidoca em São José dos Campos – SP**. 2005. 167F. Tese de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos – SP.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – PMSJC – Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Banco de Dados Geográfico Cidade Viva**. São José dos Campos, 2003. CD-ROM.

————— **Perfil municipal: demografia**. Disponível em:< [http://www.sjc.sp.gov.br/acidade/demo\\_educacao.asp](http://www.sjc.sp.gov.br/acidade/demo_educacao.asp)> Acesso em: Nov. 2006.

Sartori, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 2004, 189p. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP

Sartori, A; Lombardi Neto; F. e Genovez, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte I: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. Vol. 10, n4, p. 05-18. Dezembro, 2005.

Sartori, A; Genovez, A. M; Lombardi Neto, F. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte II: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. Vol. 10, n4, p. 05-18. Dezembro, 2005.

Valério Filho, M; Kurkdjian, M. L. N. O; Pereira, M. N. Alves, M. Geotecnologias aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas urbanizadas como subsídios ao plano diretor de drenagem. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16 - 21 abril 2005, INPE.