

## Geotecnologias para caracterização da expansão urbana em área de nascente do Córrego do Wenzel - Rio Claro/SP-Brasil

Isabel Cristina Moraes<sup>1,2</sup>  
Fabiano Tomazinin da Conceição<sup>1,3</sup>  
Edvania Aparecida Corrêa<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – UNESP/IGCE  
Avenida 24-A, nº 1515, CEP 13506-900, Bela Vista, Rio Claro, São Paulo, Brasil.

<sup>2</sup> bel.moraes.geo@gmail.com

<sup>3</sup> ftomazini@rc.unesp.br

<sup>4</sup> edvaniacorrea@ig.com.br

**Abstract.** The present study aimed to characterize the urban occupation using geotechnology in the upstream of the Wenzel Creek watershed (Rio Claro-SP/Brazil). Urbanized watersheds are composed of a variety of features, thus the development of a cartographic material allowed the analysis of the evolution of land use for 1958 and 2006. Thematic maps have been generated using the software Spring 4.3.3, where were obtained characteristics of distincts objects related to vegetation cover and features within cities. Procedures of digital processing and classification of the surface cover allowed quantifying the area occupied for each class: trees, grass, grass with bare soil, bare soil, building areas, paved street and dirt street. The areas occupied by trees and grass in 1958 were replaced by paved streets and residential buildings. The results indicated a reduction in vegetation cover, an increase of impermeable areas and suppression of water bodies. Considering the riparian forests as a protective factor to water bodies, this study has showed that the law nº4771, in force since 1965 to May 2012, did not assured vegetation protection in the source area and at the stream margins in 2006. The use of geotechnology allowed the evaluation of land use changes indicating unsuitable areas designed for urban occupation and can be applied to studies of urban planning with an environmental perspective.

**Palavras-chave:** SIG; geoprocessamento; uso da terra; bacias hidrográficas urbanas; GIS; digital processing; land use; urban watersheds;

### 1. Introdução

O uso de produtos de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas constituem importantes ferramentas para a aquisição, armazenamento, manipulação, análise e integração de dados de interesse temático, e ferramentas para a análise do uso da terra e da evolução urbana.

Nos estudos acerca do uso e ocupação da terra e suas alterações, o IGBP –International Geosphere-Biosphere Programme (1994) trata os impactos das atividades humanas no ambiente por meio da compreensão das alterações espaciais que ocorrem na superfície terrestre. Assim, os estudos sobre a temática *uso da terra* têm como definição de seus objetivos: compreender a dinâmica humana de alteração do uso da terra e seus impactos, e desenvolver modelos para avaliar o uso e ocupação da terra e suas alterações como subsídio a projetos de arranjos de ocupação territorial (IGBP, 1994). Fundamentados no suporte das geotecnologias, Valério Filho et al. (2003) destaca o monitoramento do uso e ocupação da terra:

“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” (VALÉRIO FILHO et al. 2003, p.1983).

Desta forma, o presente estudo objetivou-se em caracterizar e avaliar a evolução da ocupação urbana na área montante da bacia hidrográfica do Córrego do Wenzel por meio do uso de geotecnologias.

## 2. Contexto da área de estudo

A área de estudo refere-se ao setor montante da bacia hidrográfica do Córrego do Wenzel, afluente do Córrego da Servidão, situada no setor sudoeste do município de Rio Claro (Figura 1). Este município situa-se entre as coordenadas geográficas 22° 05' e 22° 40' S de latitude e 47° 30' e 47° 55' W de longitude, localizando-se na porção centro-leste do estado de São Paulo. A área em questão apresenta 1,613 km<sup>2</sup> de área e declividade média de 1,346 %. O Córrego do Wenzel, apresenta 0,95 km de extensão.

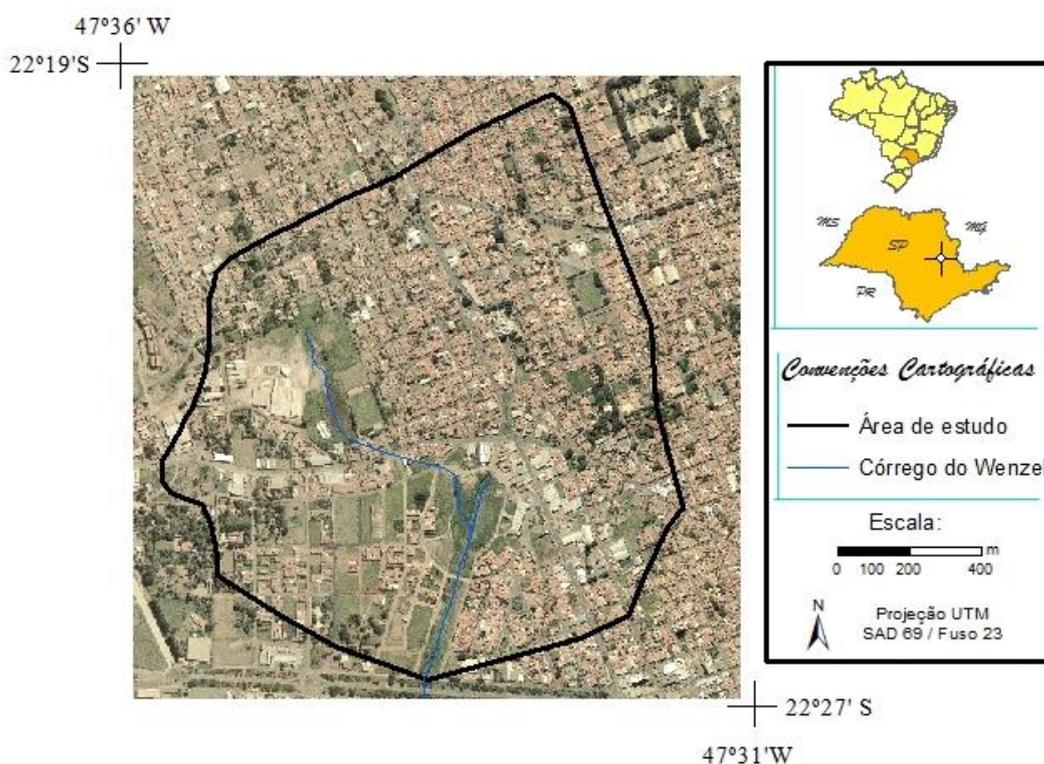


Figura 1. Localização da área de estudo (Fotografia aérea em 2006, escala de 1:30.000).

## 3. Processamento de imagens digitais e mapeamento do uso da terra

As bacias hidrográficas urbanas são compostas por uma variedade de feições, ou seja, existem diversas classes de uso e ocupação do solo, e que apresentam características hidrológicas diferentes. Assim, a elaboração de material cartográfico permitiu a análise da evolução da ocupação do solo, entre os anos de 1958 e 2006. Os mapas temáticos de uso e ocupação são gerados a partir da análise interpretativa de aerofotografias. A separação dos objetos referentes às coberturas vegetais e demais feições intra-urbanas exigem o processamento de imagens digitais, que foi dividido em duas etapas: a 1ª etapa corresponde ao pré-processamento, onde houve o preparo das imagens a serem classificadas; e a 2ª etapa é o processamento propriamente dito, onde foram aplicadas as funções de classificação da imagem.

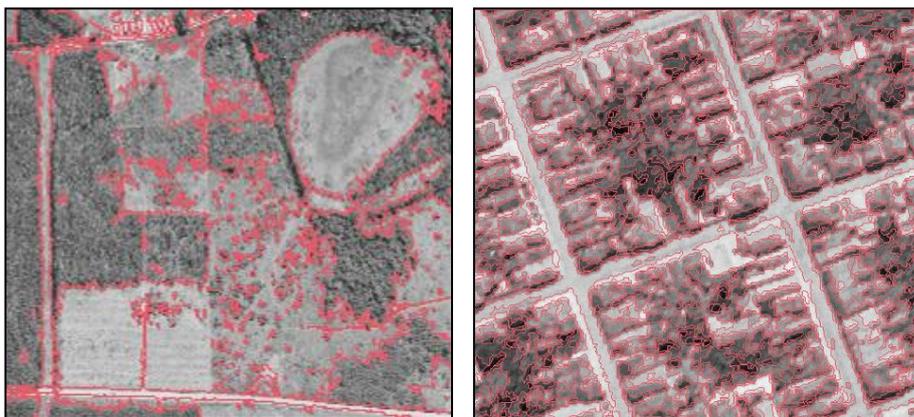
As imagens aerofotogramétricas analógicas do cenário de 1958, em escala de 1:25.000, e 2006, na escala de 1:30.000, foram transpostas para o meio digital e submetidas a procedimentos de pré-processamento. A etapa de pré-processamento das aerofotografias está

inserida em estudos da cidade de Rio Claro, realizados por Rossetti (2007). Foram desenvolvidos procedimentos de georreferenciamento das imagens e de redução das distorções radiométricas e geométricas. A minimização das distorções das imagens foi realizada através da aplicação de ortorretificação de imagens, equalização de seus níveis de cinza e a mosaicagem. Com a finalidade de homogeneizar a qualidade de contraste tonal entre as imagens, Rossetti (2007) utilizou o software *SPRING*, aplicou-se a função de “análise estatística de amostras”, com o objetivo de calcular e apresentar a média e a variância dos valores de níveis de cinza das amostras de cada foto e, por fim executar cálculos de ganhos para se igualar médias e variâncias das imagens. Como a área da bacia hidrográfica em estudo abrange número variado de fotos aéreas para cada cenário, foi necessária “acoplar” as fotos por processo de mosaicagem para compreender a área da bacia. Os procedimentos de mosaicagem foram realizados no software *SPRING*, através da importação das ortofotos (imagens) em formato *geotif*, geradas no *ENVI* (ROSSETTI, 2007).

A partir dos resultados das correções na fase de pré-processamento, as aerofotografias permitiram a extração de informações por meio do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos. Este processo de classificação da imagem permitiu a identificação de classes de uso da terra e sua representação em mapas de pixels classificados. As classes foram definidas em: a. arbórea: que inclui áreas de reflorestamento, citrus e café; b. gramínea: que inclui áreas com o cultivo de cana-de-açúcar; c. gramínea com solo exposto; d. solo exposto; e. arruamento com asfalto; f. arruamento com solo exposto; g. edificação.

No que se refere a etapas de geoprocessamento, realizou-se primeiramente a segmentação, que consiste em um processo em que a imagem é dividida em regiões que correspondem à área de interesse, sendo as regiões um conjunto de pixels contíguos e que apresentam uniformidade. A segmentação aplicada a abordagem de crescimento de regiões, que consiste em uma técnica de agrupamento de dados, na qual regiões adjacentes são agrupadas segundo um critério de similaridade, estabelecido pelo algoritmo utilizado. É no processo de segmentação que são estabelecidos parâmetros que definem o nível de detalhe segundo as classes de interesse. Os parâmetros são: limiar de similaridade, que é o valor mínimo do qual duas classes são consideradas similares e agrupadas em uma única região; limiar de área, é o menor valor da área (em pixels) para que uma região seja separada de outra; e a suavização de arcos, que permite a suavização das bordas das regiões a serem geradas. Quanto maiores são os valores de similaridade e área, menor é, pois, o nível de detalhamento e a diferenciação entre uma classe e outra.

Esta etapa de geração de regiões na imagem é o que permite a identificação das classes de uso e interfere diretamente no produto cartográfico final. Assim, optou-se pela segmentação com parâmetros diferentes para as áreas rurais, exemplificada pela Figura 2, e as áreas urbanas (Figura 3), uma vez que alvos como edificações e terrenos baldios, inseridos em quarteirões, exigem maior nível de detalhe para a classificação dos alvos. A definição das áreas a serem segmentadas, diferenciadas pela variação de coberturas vegetais (área rural) e alvos intra-urbanos, foi definida pelo “desenho” do *retângulo envolvente*. A segmentação das aerofotografias foi realizada a partir do software *SPRING* 4.3.3. Os parâmetros de similaridade e de área (em pixels) para as áreas rurais foram, respectivamente: 25-30 para o cenário de 1958 e 12-15 para 2006. Para os dois cenários, as áreas urbanas foram segmentadas com parâmetros 12-15.



Figuras 2 e 3: Exemplo da segmentação para a área rural e urbana (aerofotografia do cenário de 1958).

A classificação por regiões utiliza a informação espectral de cada pixel e a informação espacial que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos. Com base nas propriedades espectrais e espaciais da imagem, o classificador busca reconhecer áreas homogêneas, simulando o comportamento de um foto-intérprete. Em etapa preliminar ao processo de classificação, foi gerado um arquivo de contexto para armazenar as bandas utilizadas no processo de classificação. Este procedimento foi adotado para a foto de 1958, não sendo necessária para a foto de 2006 uma vez que é uma representação sintética.

Para as áreas rurais optou-se pela classificação por regiões de forma não-supervisionada, através do classificador Iseseg. Este classificador é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado que se utiliza dos atributos estatísticos das regiões: a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe. Nesta etapa definiu-se um limiar de aceitação com valor de 95%. Este limiar define a distância de Mahalanobis, onde o algoritmo detecta o maior número de classes quanto maior o valor do limiar. Para a detecção das classes ordenam-se as regiões de forma decrescente de área e inicia-se o procedimento para agrupá-las em classes que são associadas a todas as regiões cuja distância de Mahalanobis for inferior a distância definida pelo limiar de aceitação. A primeira classe teve como parâmetros estatísticos as regiões de maior área, e assim, o algoritmo repete a associação de classes em regiões menores (ordem decrescente) até que todas as regiões sejam detectadas. As imagens classificadas são geradas dentro de uma *categoria Imagem*.

Por meio da ferramenta *Mapeamento de Classes para imagem temática*, presente no *menu Imagem*, transformou a imagem classificada gerada pelo Iseseg em um mapa temático inserido em uma *categoria Temático*. Este procedimento possibilitou a reclassificação manual para eliminar eventuais erros no momento da classificação automática, principalmente nos casos de semelhança de níveis de cinza (no contexto dos parâmetros de segmentação), como telhados claros que foram incluídos na classe *solo exposto*.

Para a classificação das áreas urbanas, devido às feições de maior detalhe e a variação do nível de cinza, que é maior em função do tamanho reduzido dos alvos, optou-se pela classificação manual. Para isso, as representações geradas pela segmentação das áreas urbanas, que são *Imagens Rotuladas* dentro de *categoria Imagem*, tiveram seus dados convertidos em linhas (formato vetorial) para uma *categoria Temático* que permite a edição dos dados. A classificação manual foi feita a partir da análise interpretativa das imagens e utilização da ferramenta de *edição vetorial* de dados, que permitiu associar polígonos (regiões) à classes de uso.

### 3.1 Geração dos mapas temáticos

O material cartográfico, produto da classificação das áreas urbanas e rurais, foi gerado em formato vetorial. A representação em vetor busca representar o mais fiel possível as entidades geográficas, tanto em sua posição, comprimento e dimensão. Devido a similaridade das características dos alvos, principalmente de elementos como cor e textura, um polígono pode conter mais de uma feição, que deveria estar associada a mais de uma classe, porém formato vetorial não permite ajustes que interfiram na área ou forma do polígono, sendo necessária a transformação dos dados para o formato matricial.

Para a geração dos mapas temáticos a classificação passou por processos de *edição matricial*. Através da conversão dos dados vetoriais em matriciais, as representações passaram a ser referenciadas por linhas e colunas, sendo o mapa de classes um conjunto de celas, implementadas como uma matriz 2D ou pixel (Figura 4). Neste processo de conversão pode haver perdas uma vez que as bordas dos polígonos que antes eram contínuas são discretizadas de acordo com a resolução da foto. A classificação matricial foi utilizada para corrigir e reclassificar feições com base na interpretação das fotografias aéreas.

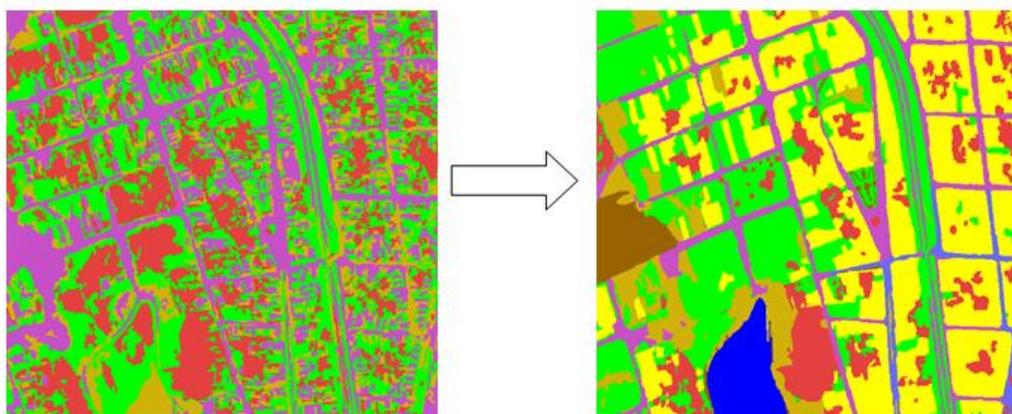
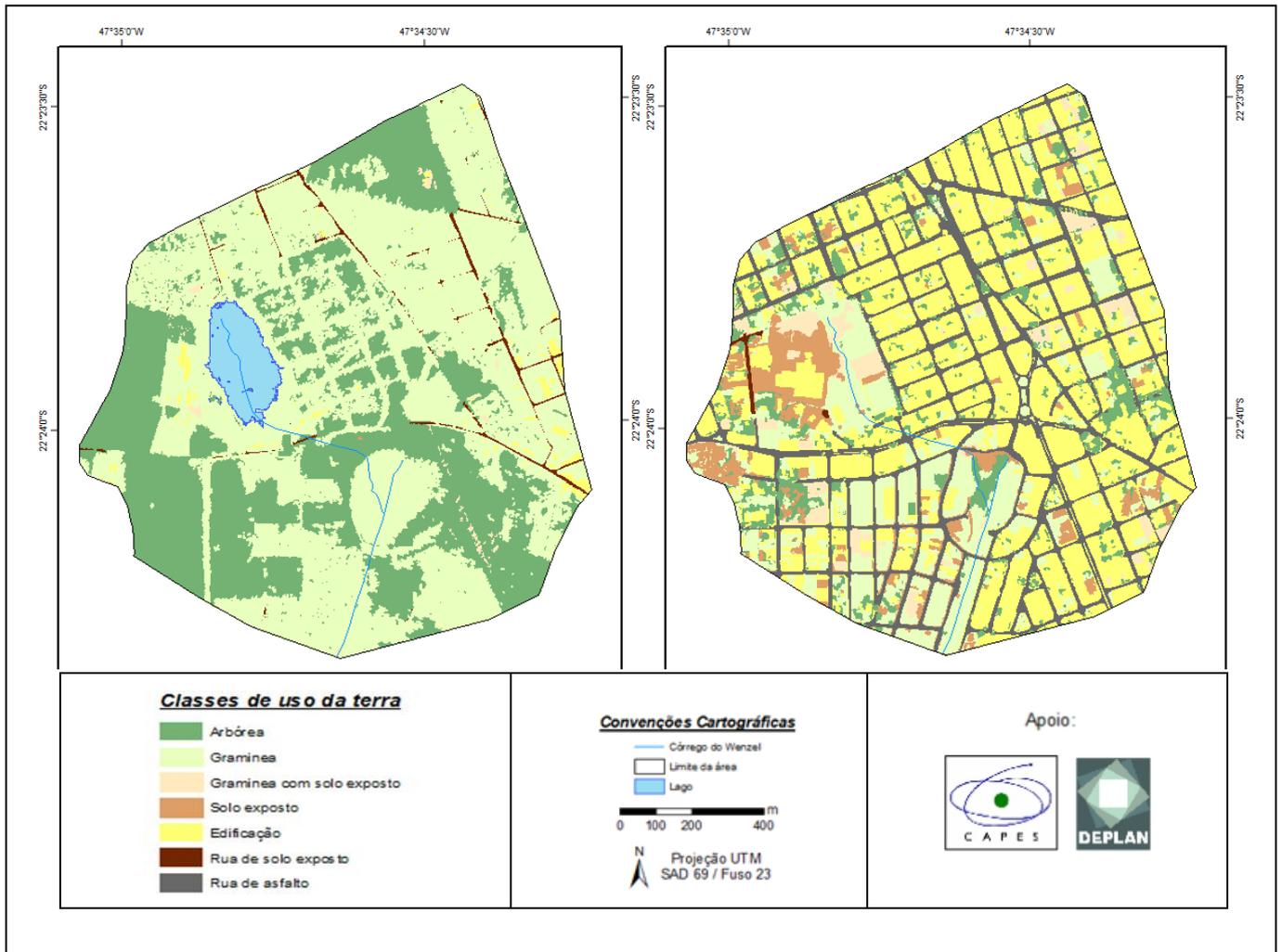


Figura 4: Exemplo de classificação vetorial e matricial

Devido a inclinação solar, por exemplo, muitos alvos geram áreas sombreadas, que apresentam tons de cinza ou cores semelhantes à das feições arbóreas e eram incluídas em um único polígono (classe arbórea). A edição em matrizes permitiu o ajuste da classificação e das “confusões” de alvos, gerando assim os mapas temáticos de uso e ocupação.

### 4. Análise da evolução urbana

As etapas de processamento das imagens aerofotogramétricas resultaram na classificação do uso da terra em 1958 (Mapa 1) e 2006 (Mapa 2). O mapeamento temático possibilitou quantificar a área ocupada para cada classe de uso: arbórea, gramínea, gramínea com solo exposto, solo exposto, edificação, arruamento de asfalto e de solo exposto (Gráfico 1).



Mapa 1 e 2 – Uso da terra no setor a montante do Córrego do Wenzel, para o cenário de 1958 e 2006, respectivamente.

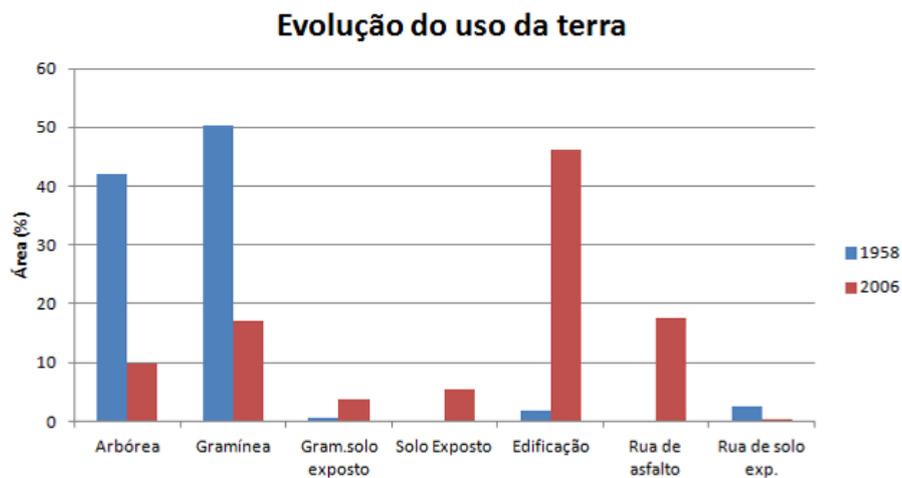


Gráfico 1 – Evolução do uso da terra entre os cenários de 1958 e 2006.

Os primeiros impactos da ocupação urbana são identificados pela diminuição drástica da cobertura vegetal arbórea, em 1958, que foi substituída por edificações e gramíneas. A cobertura vegetal gramínea foi substituída por edificações e arruamentos de asfalto em 2006. Em 2006, constata-se que há áreas ocupadas por arbóreas e gramíneas, no entanto, estão inseridas em sua maioria em quintais, praças e calçadas. Do ponto de vista de distribuição espacial destas vegetações, não há ocorrência das mesmas de forma significativa, o que implica em prejuízos no que tange a preservação ambiental e manutenção dos recursos naturais.

A expansão urbana do setor se deu de forma intensa principalmente a partir da década de 1990, conforme verificações em fotografias aéreas de 1995 e Planta Cadastral da Prefeitura Municipal. O fato da ocupação mais recente não implicou no planejamento do loteamento destas áreas, que ocupou a nascente e a planície de inundação do córrego. Ressalta-se que a Lei nº4.771, em vigência desde setembro de 1965 a maio de 2012, já designava proteção dos corpos d'água com mata nativa de faixa marginal com largura mínima de 30 m (rios inferiores a 10 m de largura) e raio mínimo de 50 m para o olho d'água. (Tais parâmetros foram reestabelecidos em 15 m e 50 m, respectivamente, conforme Novo Código Florestal - Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012). Neste estudo, verificou-se a ausência de mata ciliar na maior parte do curso d'água e em sua nascente em 1958, e redução da mesma em 2006 apesar de legislação favorável à proteção por vegetações nativas. Aliado a isto, constata-se em 2006 a supressão da lagoa, retificação do canal (escoando a céu aberto em superfície ocupada por gramínea) e trecho fechado em subsuperfície devido às áreas construídas.

Os resultados expressam uma situação comum em demais zonas urbanas, a começar pela redução da cobertura vegetal e de sua densidade e impermeabilização da superfície. Tais fatores implicaram na alteração da dinâmica hidrológica da nascente, verificada pela ausência da lagoa em 2006 e aumento de maiores volumes de água em setores a jusante.

## 5. Considerações

O mapeamento do uso e ocupação da terra mostrou-se como uma metodologia adequada no processo de aquisição de informações referentes à cobertura de superfície. As classes de uso definidas entre elementos de cobertura vegetal e intra-urbanos contribuíram para quantificar as diferentes coberturas. Da mesma forma, a análise multitemporal por meio do mapeamento de diferentes cenários é importante para estudos que envolvem a evolução da expansão urbana. O software Spring mostrou-se adequado tanto para o pré-processamento quanto para o processo de classificação das imagens. As geotecnologias aplicadas a bacias urbanas são um instrumento de grande valia na medida em que permitem a análise do processo de urbanização, bem como as tendências de ocupação de áreas futuras ou inadequadas do ponto de vista ambiental.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à CNPq pelo suporte financeiro deste trabalho (Processo nº 475291/2009-3) e a CAPES pela cessão da bolsa de Mestrado a Isabel Cristina de Moraes.

## Referências bibliográficas

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Código Florestal. Brasília, 1965.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 55 de maio de 2012. Código Florestal. Brasília, 2012.

IGBP - International Geosphere-Biosphere Programme (1994) (Disponível em: <<http://www.igbp.net/page.php?pid=250>> Acesso em: 22 ago. 2011).

**ROSSETTI, L.A.F.G. Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP).** 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2007.

VALÉRIO FILHO, M.; ALVES, M.; GARCIA, R.; FANTIN, M. Caracterização de bacias hidrográficas impermeabilizadas pelo processo de urbanização com o suporte de geotecnologias. In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** - SBSR, 04, 2003, Belo Horizonte. São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 1977-1983. CD-ROM, On-Line. ISBN 85- 17-00017-X. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2005/biblioteca/>>. Acesso em: 23 ago. 2011.