

AVALIAÇÃO INICIAL DO USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O GERENCIAMENTO DA RECARGA DE UM AQUÍFERO CONSIDERANDO A EXPANSÃO URBANA: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE RIOCLARO - SP

Lucimari Aparecida Franco Garcia Rossetti¹; Sergio dos Anjos Ferreira Pinto²; Jefferson Nascimento de Oliveira³; Rodrigo Braga Moruzzi⁴; Thiago Garcia da Silva Santim⁵

Resumo – Com o crescimento das áreas urbanas, fica evidenciado que faz-se necessário o uso de um ferramental de maior precisão para o controle e análise dos pedidos de outorga para o uso da água subterrânea, bem como fica evidenciado a necessidade da redução de riscos ambientais, com a geração de cenários de pré-decisão. Neste contexto foi analisado o crescimento da área urbana da cidade de Rio Claro, região central do Estado de São Paulo, visando quantificar a diminuição das possíveis áreas de recarga, com a incremento das áreas impermeáveis. Para isto foram usadas imagens de satélite e um Sistema de Informação Geográfica avaliando-se uma série temporal abrangendo os anos de 1962, 1972, 1988, 1995 e 2006. Com o crescimento do uso da água subterrânea na região, como atestam alguns autores os resultados apresentados servirão como auxílio no gerenciamento da possível recarga do aquífero da Formação Rio Claro.

Abstract – With the growth of the urban areas, it is evidenced that is done necessary the use of a ferramental of larger precision for the control and analysis of the requests of it grants for the use of the underground water, as well as the need of the reduction of environmental risks is evidenced, with the generation of sceneries of decision. In this context the growth of the urban area of the city of Rio Claro, central area of the State of São Paulo, was analyzed seeking to quantify the decrease of the possible recharge areas, with the increment of the impermeable areas. For this satellite images and a Geographical Information System were used being evaluated a temporary series including the years of 1962, 1972, 1988, 1995 and 2006. With the growth of the use of the groundwater in the area, as they attest some authors the presented results will serve as aid in the administration of the possible recharge of the aquifer of the Rio Claro Formation.

Palavras-Chave – Sistemas de informação geográfica, Recarga, Rio Claro.

¹ Centro de Análise e Planejamento Ambiental CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail lucimari@rc.unesp.br

² Centro de Análise e Planejamento Ambiental CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail sanjos@rc.unesp.br

³ Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Laboratório de Hidrologia e Hidrometria – LH² – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. Fone: (18) 37431211. Fax: (18) 37431160. e-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br

⁴ Departamento de Planejamento Regional - DEPLAN/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail rmoruzzi@rc.unesp.br

⁵ Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Laboratório de Hidrologia e Hidrometria – LH² – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. e-mail: thiagosanto777@yahoo.com.br

1 – INTRODUÇÃO

A expansão urbana é um processo de conotação espacial com dimensão temporal, ocorrendo quando as cidades requerem novos espaços para ampliação, decorrentes do crescimento populacional, ou por deterioração de áreas já ocupadas possuindo funções residenciais e serviços, ou ainda pela reorganização funcional de setores centrais da cidade e incorporação de novas áreas além do atual perímetro.

Neste contexto, é de fundamental importância o levantamento de dados para uma análise diagnóstica, e o monitoramento desses espaços urbanos como suporte ao planejamento e a sua gestão territorial. Com a finalidade de ordenar racionalmente a ocupação desses espaços, é necessário que exista um planejamento para o uso e ocupação do solo, com informações sobre a tendência do crescimento urbano e o padrão da ocupação, bem como as características ambientais e os diferentes fatores/agentes envolvidos.

Foram aplicados procedimentos de ortorretificação, realce, mosaicagem e classificação digital supervisionada. Por meio de um Sistema de Informações Geográficas foi estruturado e implementado um banco de dados georreferenciado, permitindo a geração de mapas temáticos e a elaboração de uma análise temporal da distribuição da cobertura vegetal e da expansão urbana da cidade de Rio Claro, visando com isto conhecer as possíveis reduções de recargas e em quais áreas isto está ocorrendo de maneira mais intensa.

Segundo Oliva e Chang (2007), no município de Rio Claro, a exploração de águas subterrâneas tem sido ampliada nos arenitos da Formação Rio Claro, devido a uma crescente demanda principalmente aliada ao setor industrial. Ainda segundo Oliva et al. (2005) tal Formação ainda atende de modo satisfatório as necessidades demandadas, mas estudos já estão sendo desenvolvidos no sentido de um conhecimento mais profundo das características desses arenitos, bem como de sua recarga.

De um modo geral, a presença de áreas vegetadas aumenta a permeabilidade dos terrenos intra-urbanos, reduzindo o escoamento superficial das águas pluviais, que causam também problemas de inundações, especialmente nos setores do sítio urbano que apresentam altimetrias mais baixas, como por exemplo, as áreas de fundo de vales da rede de drenagem incorporada pelo crescimento urbano.

A cidade de Rio Claro vem ampliando sua área impermeável devido a urbanização e estando todo o seu território sobre a área de recarga da referida formação buscou-se neste estudo conhecer mais profundamente, com o uso do SIG qual foi a possível diminuição da recarga. Segundo Moreno e Tejada (2003) modelagem digital do terreno, pode contribuir de forma específica na modelagem dos dados e parâmetros hidrológicos.

2 – MATERIAIS E MÉTODO

2.1 – Características da Área de Estudos

Rio Claro é considerada uma cidade de porte médio e de importância agro-industrial do interior paulista. Possui também importante acervo de documentos cartográficos e imagens fotográficas de diferentes períodos, sendo assim possível de realização deste trabalho.

O município de Rio Claro localiza-se na porção centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 1), integrando a Região Administrativa de Campinas, importante pólo industrial do Estado; faz parte de uma micro-região bastante desenvolvida e em constante expansão econômica, que inclui os municípios de Corumbataí, Analândia, Itirapina, Ipeúna e Santa Gertrudes.

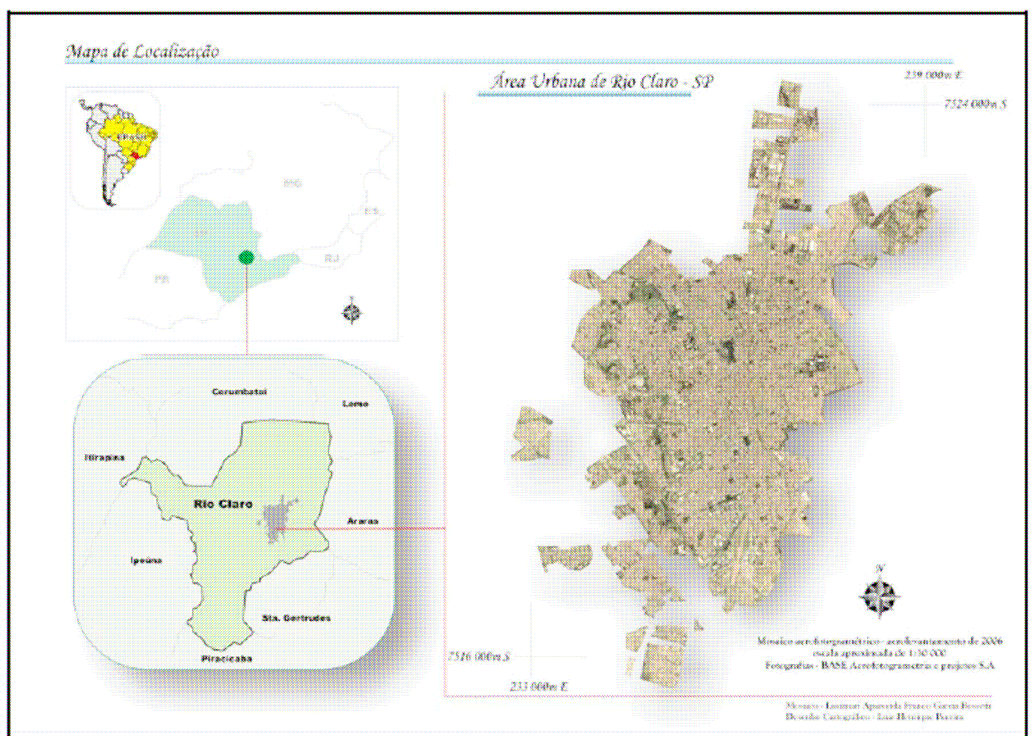


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: Rossetti (2007).

Estabelecida em sítio urbano de relevo predominantemente plano, está situada a uma altitude média de 613 m, e abriga uma população de cerca de 181.549 habitantes, conforme o Censo 2004 da Fundação SEADE. O município situa-se na Depressão Periférica Paulista (unidade geomorfológica representada por uma área rebaixada, com altitudes de 500 a 700 metros).

A economia local está atualmente vinculada à agricultura da cana-de-açúcar e ao setor industrial de transformação, em que se sobressai a cerâmica de acabamento, fazendo de Rio Claro um importante pólo de produção nacional no setor.

2.1 – Água Subterrânea da Área de Estudos

No município de Rio Claro, segundo Oliva et al (2005) ocorrem dois sistemas principais de águas subterrâneas. O primeiro consiste em um aquífero livre pouco profundo, constituído pelos materiais pouco consolidados, de origem fluvial, da Formação Rio Claro. De acordo com estudos realizados por Oliva e Chang (2007) os níveis d'água oscilam entre 2 e 25 metros. O segundo sistema compreende rochas do Grupo Tubarão, mais especificamente da Formação Tatuí e do Subgrupo Itararé, que constitui um aquífero confinado.

3 – ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para o desenvolvimento deste trabalho, adotou-se uma abordagem conforme indicado a seguir:

3.1 – Materiais e Equipamentos

*Softwares: *Autodesk MAP5, ENVI 4.1, Spring 4.3, e-Cognition 4.2 e Idrisi 3.2.*

*Sistema de Posicionamento Global – GPS

*Estereoscópio

*Imagens aerofotogramétricas - aerolevamentos de: 1962 (1:25.000), 1972 (1:25.000), 1988 (1:40.000), 1995 (1:25.000) e 2006 (1:30.000).

*Planta cadastral da cidade de Rio Claro, formato analógico e digital, na escala de 1:10.000, obtida a partir de levantamento aerofotogramétrico de 1978, com atualizações nos anos de 1984 e 2000.

*Folha da carta topográfica de Rio Claro, na escala de 1:50.000 (IBGE).

*Cartas topográficas de Rio Claro – 1:10.000 (IGC/SP).

3.2 – Desenvolvimento do Trabalho

Os procedimentos metodológicos adotados no projeto visaram identificar e caracterizar a cobertura vegetal intra-urbana e a expansão urbana de Rio Claro, através das seguintes etapas:

3.2.1 – Seleção de Imagens Aerofotogramétricas

Foram selecionadas as fotos relativas aos aerolevamentos de 1962, 1972, 1988, 1995 e 2006, utilizadas para a delimitação da área intra-urbana e para a extração dos dados de cobertura vegetal. Salienta-se que a foto de 1988 foi utilizada somente para a análise da expansão urbana, devido sua escala ser reduzida não possibilitou a extração dos dados de cobertura vegetal. Estas imagens analógicas foram transferidas para meio digital, tendo o scanner como ferramenta para esta transposição.

3.2.2 – Procedimentos de Vetorização da Planta Cadastral

Inicialmente, foi realizada a edição da planta cadastral de Rio Claro de 1988, atualizada em 2000 (Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente), com o aplicativo CAD *Autodesk Map*, que possui e integra funções de vetorização, edição e plotagem. Os dados altimétricos e planimétricos foram editados para a geração do mapa da planta cadastral e para preparar os dados a serem utilizados em um SIG. Foram feitos ajustes das curvas de nível e da hidrografia, que resultaram em um Modelo Digital do Terreno (MDT). Uma visão sinótica desta Planta Cadastral e seu entorno encontra-se na Figura 2.

É importante salientar que esta Planta Cadastral, servirá também de suporte para procedimentos de pré-processamento de imagens digitais.

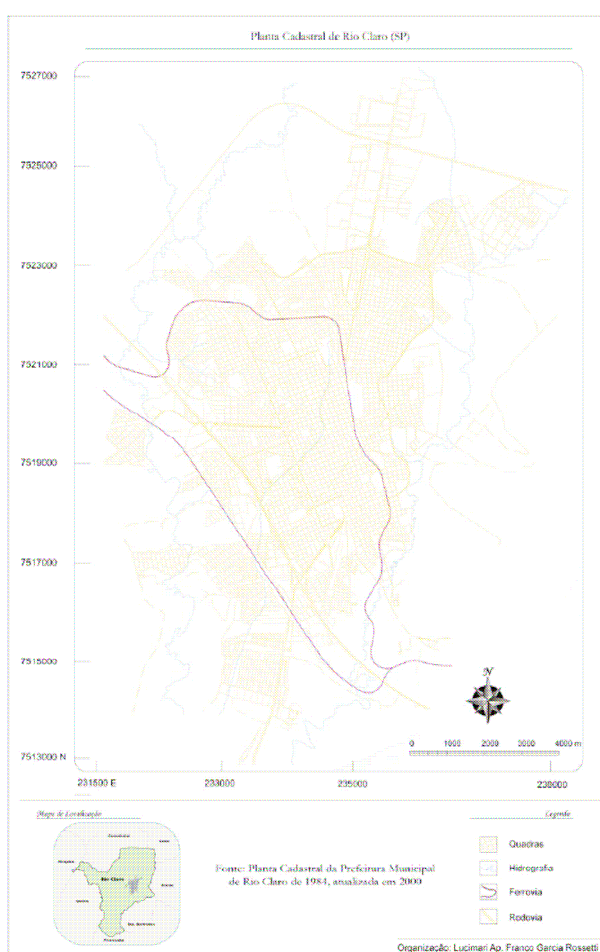


Figura 2 – Planta cadastral de Rio Claro (SP). Fonte: Rossetti (2007).

3.2.3 – Estruturação do Banco de Dados Georeferenciado

Estruturação do banco de dados no software *SPRING*, utilizando o Gerenciador Access. Para a definição do projeto foram utilizados os seguintes parâmetros: *Projeção:* UTM/Córrego Alegre; *Retângulo Envolvente:* Coordenadas Planas X1: 231500 X2: 241000 Y1: 7513000 Y2: 7530000 Hemisfério: S

3.2.4 – Processamento das Imagens Digitais




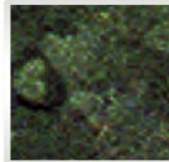

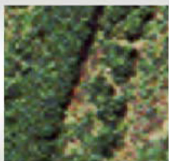
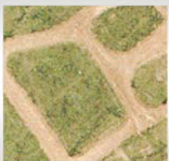
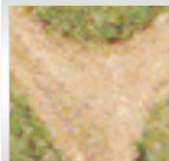
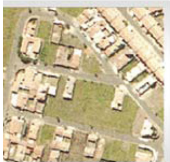







Na seqüência da abordagem deste trabalho, as imagens aerofotogramétricas transpostas para o meio digital, foram submetidas a procedimentos de processamento, combinando aplicativos de realce e de classificação. O processamento das imagens digitais foi dividido em duas etapas: a 1ª etapa, correspondente ao pré-processamento, preparou as imagens para serem classificadas; na 2ª etapa, correspondeu ao processamento das imagens propriamente dito, aplicando-se funções de classificação para separar os objetos referentes às classes de cobertura vegetal intra-urbana.

3.2.5 – Processamento das Imagens

Primeiramente foi feita a classificação das imagens digitais por meio do software *e-Cognition*, que é baseado no paradigma de orientação a objetos, foi utilizado para mapeamento da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro. Para isso, foram definidas duas classes temáticas: Cobertura Vegetal e Outras Coberturas, as quais foram identificadas a partir da segmentação multiresolução das imagens. Para a classificação da cobertura vegetal intra-urbana, foram realizadas as seguintes etapas: 1. Definição e caracterização das Classes; 2. Segmentação de Imagem

Para o reconhecimento dos padrões foram utilizados os elementos: cor, tamanho, forma, textura e localização. A seguir são apresentados módulos de imagens tendo alvos de interesse (diferentes tipos de cobertura vegetal) e os seus respectivos padrões (Tabelas 1)

Tabela 1 – Chaves de Interpretação das classes de cobertura vegetal e outras coberturas – foto aérea colorida: escala aproximada de 1:30.000. Fonte: Rossetti (2007).

Localização	Amostras	Tipos de Cobertura Vegetal	Localização	Amostras	Tipos de Cobertura Vegetal
		Cobertura Vegetal de “fundo de lote”			Arbórea
		Vegetação de Várzea			Solo Exposto
		Gramínea			Edificação
		Arbustiva			Pavimentação

No processo de segmentação neste trabalho foi estabelecido somente um nível hierárquico, devido ao interesse de se classificar objetos que representam as classes de Cobertura Vegetal e Outras Coberturas, conforme Figura 3.

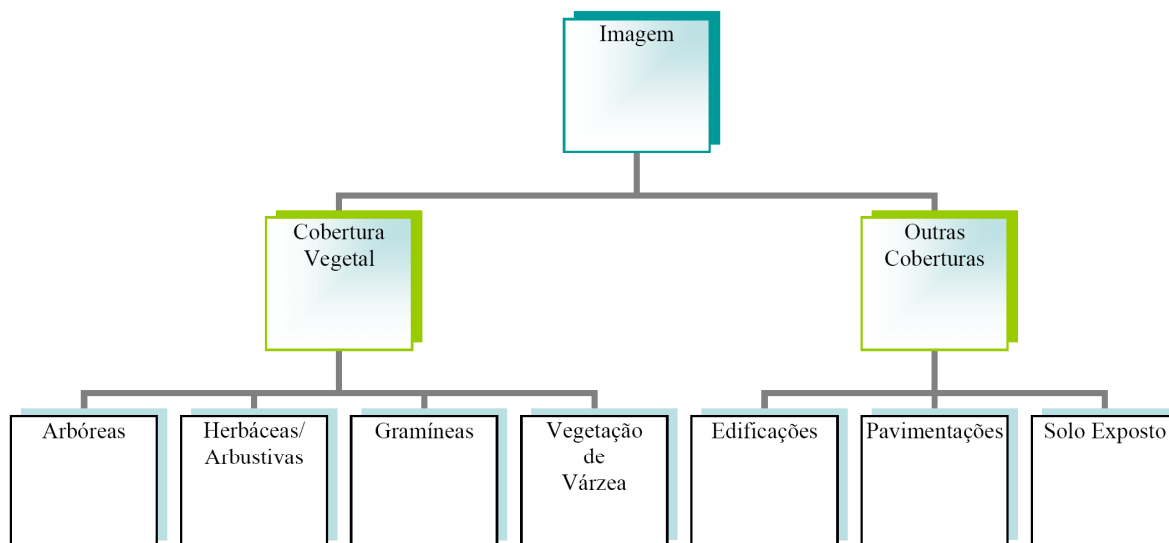


Figura 3 – Fluxograma da rede hierárquica da cobertura vegetal. Fonte: Rossetti (2007).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Velasquez (1996) define duas formas de recarga para aquíferos: a recarga direta e a indireta. A recarga direta é o volume de água adicionada ao reservatório de água subterrânea por percolação vertical direta da precipitação através da zona não saturada. Ainda segundo Velasquez (1996), a recarga indireta corresponde à percolação de água até o aquífero, advinda do escoamento superficial a partir dos corpos hídricos existentes no terreno e das fontes de vazamento das redes de abastecimento e de coleta de esgoto doméstico.

Weldland et al. (2004) salienta que a recarga natural (direta) ocorre segundo dois mecanismos: por meio de infiltração direta das águas de chuva na área de afloramento e de forma retardada em parte da área confinada. Os mesmos autores salientam que estudos do comportamento da água no solo demonstraram que a recarga em aquíferos subterrâneos ocorre somente em períodos de chuva.

Com base nos procedimentos de segmentação e classificação de imagens digitais e com a utilização do software *Idrisi*, foram gerados mapas temáticos, da distribuição da cobertura vegetal intra-urbana. Utilizando o recurso das lógicas de cruzamento de planos de informações, os mapas com o recorte de 1962 foram sobrepostos, para a indicação das áreas intra-urbanas que apresentaram alterações temáticas. Para fins de comparação foram também, gerados mapas dos cenários, com o recorte da área urbanizada relativa ao cenário de 1962. Estes mapas temáticos encontram-se apresentados na Figura 4.

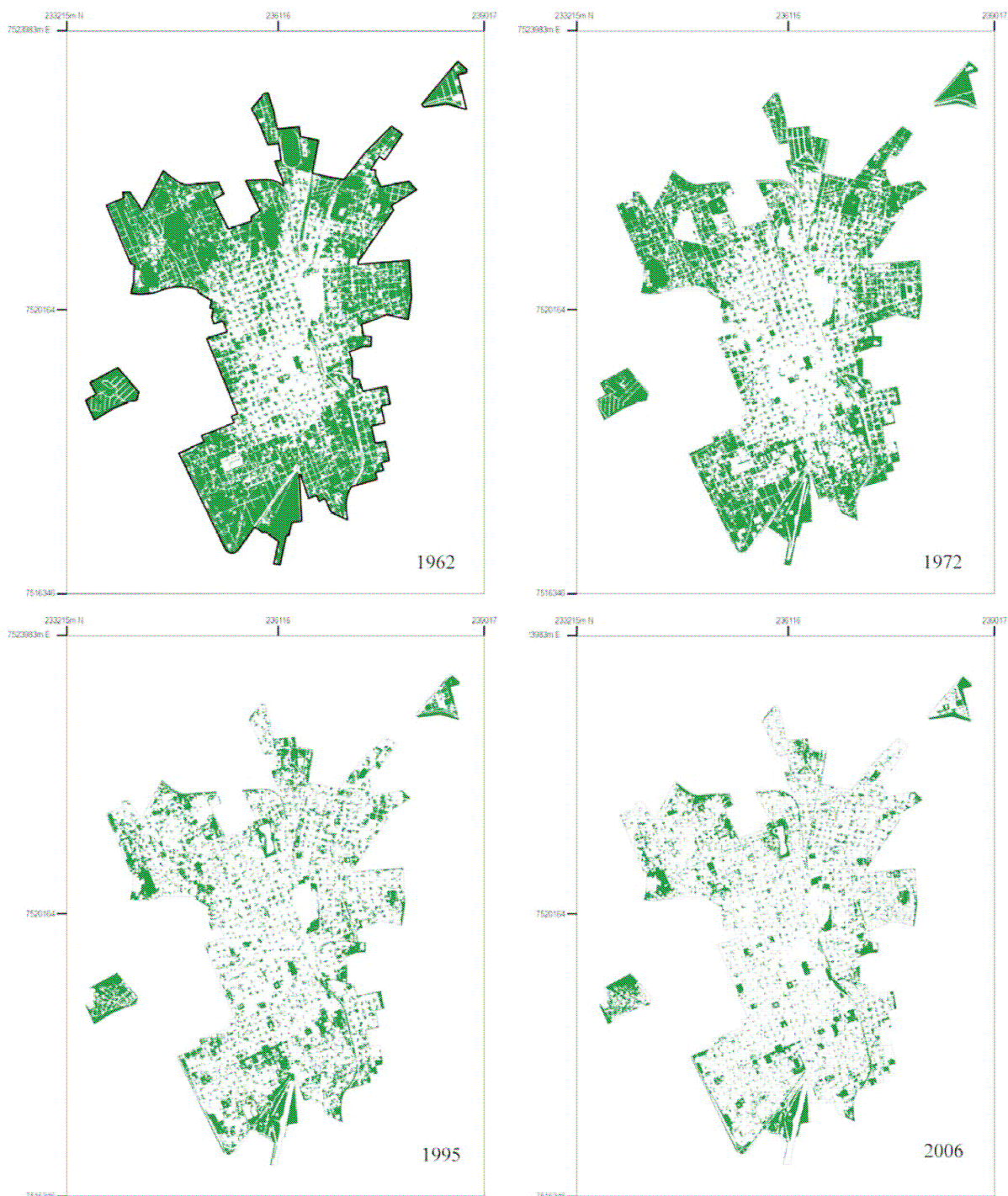


Figura 4 – Cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro com base no limite urbano de 1962 – conforme cenários. Fonte: Rossetti (2007).

Analisando o comportamento da cobertura vegetal em relação ao crescimento da malha urbana e ao adensamento de ocupação, observou-se que em 1962 a área intra-urbana era compreendida por 59,75% de cobertura vegetal e 40,25% de outras coberturas. O fato de existir

mais cobertura vegetal do que área ocupada por edificações se deve aos loteamentos periféricos com baixa densidade de ocupação.

Vale salientar que, no período de 1972 a 1995, a ocorrência do crescimento da cidade e do processo de ocupação se realizou com maior intensidade, pois é neste momento que a cobertura vegetal diminui em relação ao adensamento de ocupação. No período de 1995 a 2006, o crescimento da cidade acontece e com menor intensidade, mas o adensamento de ocupação se intensifica ocasionando a diminuição na cobertura vegetal. Os dados da tabela 2 evidenciam este fato.

Tabela 2 - Ocorrência da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro – cenários 1962 a 2006

Anos	Cobertura Vegetal		Outras Coberturas		Área Urbanizada
	<i>km²</i>	<i>%</i>	<i>Km²</i>	<i>%</i>	
1962	8,67	59,75	5,84	40,25	14,51
1972	10,33	54,03	8,79	45,97	19,12
1995	17,00	45,97	19,98	54,03	36,98
2006	14,39	37,20	24,29	62,80	38,68

Outro resultado obtido foi a quantificação do avanço da mancha urbana com relação aos solos da região. Isto significa uma diminuição efetiva da infiltração direta no aquífero, como fica evidenciado na tabela 3 e na Figura 5. Nota-se que devido a o crescimento da cidade a área peri-urbana de recarga também foi atingida.

Tabela 3 - Tipos de Solos na área intra-urbana de Rio Claro – cenários 1962 a 2006

Anos	Latossolo		Podzólico		Área Urbanizada
	Vermelho Amarelo		Vermelho Amarelo		
	<i>km²</i>	<i>%</i>	<i>Km²</i>	<i>%</i>	
1962	14,25	98,21	0,26	1,79	14,51
1972	18,53	96,91	0,59	3,09	19,12
1995	31,69	85,69	5,29	14,31	36,98
2006	32,99	85,29	5,69	14,71	38,68

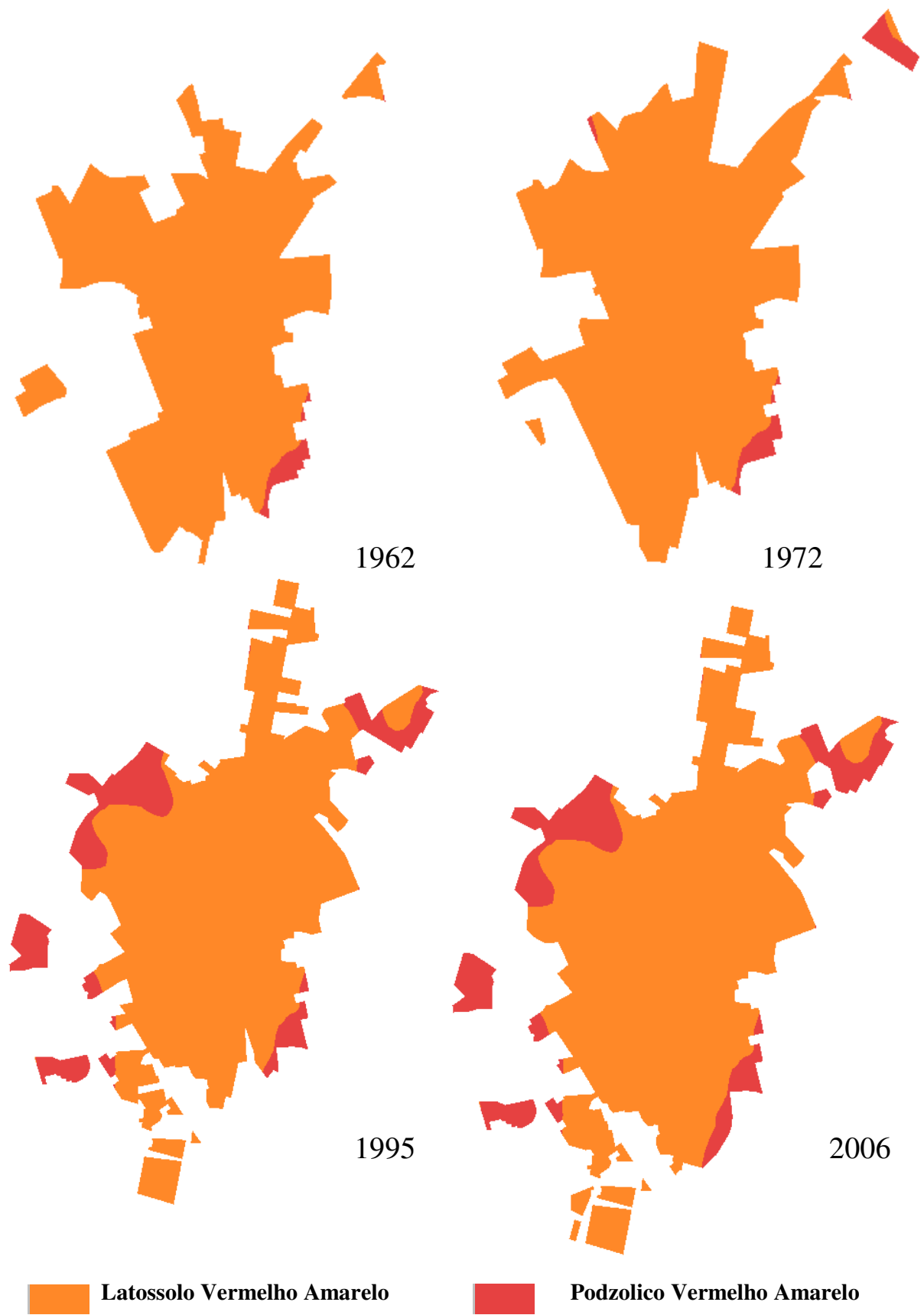


Figura 5 - Evolução temporal da urbanização sobre o solo da região

4 – CONCLUSÕES

Pode ser destacado a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas, que possibilitam a estruturação e implementação de banco de dados geográficos (georreferenciado e relacional), permitindo gerenciar grande quantidade de dados referentes aos poços existentes e já cadastrados e gerando informações, com maior acurácia, sobre as condições de uso e ocupação do solo. Nesse sentido, o usuário ganha em agilidade e flexibilidade, facilitando o acesso e manipulação a diferentes tipos de dados. A utilização combinada das tecnologias de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas permite uma abordagem analítica e de integração de dados em estudos diagnósticos e simulações futuras.

Por sua vez, os produtos resultantes deste trabalho, como as análises e a geração dos mapas temáticos da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão da área urbanizada de Rio Claro, dos diferentes cenários, contribuirá para o desenvolvimento de novos projetos na linha do uso sustentável da água subterrânea, tanto do ponto de vista quantitativo, como qualitativo.

Ainda, os resultados gerados através das análises espaço-temporal, poderão fornecer subsídios à elaboração e/ou atualização de Planos Diretores Municipais e à gestão de órgãos públicos, oferecendo aos planejadores um panorama do ambiente urbano para a tomada de decisões no que tange aos recursos hídricos subterrâneos e sua áreas de recarga e proteção.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio em termos de sua infra-estrutura para a utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Informação dos Municípios Paulistas**. 20065. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/>>. Acesso em: 03 jul. 2006.

MORENO, J.; TEJADA, K. S., 2003. O uso de instrumental SIG na análise de parâmetros hidrológicos com vistas às ações de gestão territorial, estudo de caso: a bacia hidrográfica do Ribeirão do Piracicamirim - Piracicaba, SP Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - CD. Curitiba: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 18p.

OLIVA, A.; CHANG, H. K.; CHANG, M. R. C., 2005. Determinação da condutividade hidráulica da formação rio claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro *guelph* e testes de *slug*. Revista Águas Subterrâneas, v. 19, n. 2, p. 1-17.

OLIVA, A.; CHANG, H. K., 2007. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica. Geociências, v. 26, n. 1, p. 27-34.

ROSSETTI, L. A. F. G., 2007. Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP). Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP campus de Rio Claro. Área de Organização do Espaço. Rio Claro. 115 p.

VELASQUEZ, L. N. M., 1996. Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial – área piloto: sub-bacias Sumaré e Pompéia, município de São Paulo. Tese de doutorado para obtenção do título de doutor. Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 125p.

WENDLAND, E. *et al*, 2004. Taxa de infiltração em zona de afloramento do aquífero guarani. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - CD. São Paulo: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 17p