

MONITORAMENTO DA EXPANSÃO URBANA, CENÁRIOS FUTUROS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL E O CONSUMO DE RECURSOS HÍDRICOS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS, SP

Carlos Wilmer COSTA¹, Francisco Antônio DUPAS², Juliana Garcia CESPEDES³, Luiz Felipe SILVA⁴

- (1) Universidade Federal de Itajubá/Instituto de Recursos Naturais/Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática/Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Rua Brazópolis, nº 27, Santa Efigênia. CEP: 37508-000. Piranguinho, MG. Endereço eletrônico: carloswilmer@unifei.edu.br
- (2) Universidade Federal de Itajubá/Instituto de Recursos Naturais/Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática. Av. BPS nº 1303, Pinheirinho. CEP: 37500-903. Itajubá, MG. Endereço eletrônico: dupas@unifei.edu.br
- (3) Universidade Federal de São Paulo/ Campus São José dos Campos. Instituto de Ciência e Tecnologia. Departamento de Ciência e Tecnologia. Rua Talim, 330 Vila Nair, São José dos Campos, SP. Endereço eletrônico: cespedes@unifesp.br
- (4) Universidade Federal de Itajubá/Instituto de Recursos Naturais. Av. BPS nº 1303, Pinheirinho. CEP: 37500-903. Itajubá, MG. Endereço eletrônico: lfelipe@unifei.edu.br

Introdução

Localização e reconhecimento preliminar da área de estudo

Materiais

Métodos

Resultados e análises integradas

Análise da dinâmica da mancha urbana de 1962 a 2006

Cenários futuros de crescimento populacional

Avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos

Considerações finais

Agradecimentos

Referências bibliográficas

RESUMO – O agrupamento de pessoas em áreas densamente povoadas aponta para a utilização de sistemas de monitoramento de sensoriamento remoto e de análises espaciais com Sistemas de Informação Geográfica. Neste estudo, a superfície impermeabilizada da cidade de São Carlos, Estado de São Paulo, foi estudada durante um período de 44 anos por meio de fotografias aéreas e imagens dos satélites Landsat 5 e Alos. Análises estatísticas foram utilizadas para a elaboração de modelos, os quais permitiram a predição do crescimento populacional e da superfície impermeabilizada até o ano de 2050. Os resultados mostram que se comparadas com 2006, as estimativas para 2050 são de uma população de aproximadamente 382.385 habitantes (+76,8%), e uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km² (+93,6%). Esta análise sugere que a densidade populacional continuará diminuindo por conta do desenvolvimento de novas áreas, o que indica dispersão do tecido urbano, refletindo em maior consumo de área aumentando a pressão sobre os mananciais superficiais e subterrâneos. Desta forma, conclui-se que a integração das informações técnicas e legais para efeito de planejamento da ocupação do solo é de suma importância para a manutenção dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Expansão urbana, SIG, análise espaço-temporal, mananciais, São Carlos, recursos hídricos.

ABSTRACT – The grouping of people in densely populated areas indicates the use of monitoring systems of remote sensing and spatial analysis with Geographical Information Systems. In this study, the impervious surface of the city of São Carlos, São Paulo State, was studied during a period of 44 years using of aerial photographs and Landsat 5 satellite images and ALOS. Statistical analysis was used for modeling, which allowed the prediction of population growth and the impervious surface by the year 2050. The results show that compared to 2006, estimates for 2050 are from a population of approximately 382,385 people (+76.8%), and a impervious surface of 143.1 km² (+93.6%). This analysis suggests that population density will

continue to decrease due to the development of new areas, which indicates dispersion of city, resulting in a higher area consumption by increasing the pressure on the surface and underground water sources. Thus, we conclude that the integration of technical and legal effect of land use planning is of great importance for the maintenance of hydric resources.

Keywords: Urban sprawl, GIS, Spatiotemporal analysis, water sources, hydric resources.

INTRODUÇÃO

Atualmente, diversos órgãos de distintos níveis governamentais, dedicam mais tempo e dinheiro à gestão do uso do solo associado aos recursos hídricos a fim de acomodar a crescente população e possibilitar outros usos do solo urbano tais como comércios e indústrias. O nível de urbanização ou o seu crescimento determinam as mudanças no padrão do uso e ocupação do solo e podem causar impactos negativos com relação à vegetação, hidrologia e geomorfologia. Em termos hidrológicos, o resultado da urbanização em forma de superfície impermeabilizada é refletido no aumento do volume e da taxa de escoamento superficial dos rios (Tucci, 2008), na alteração da morfologia do canal (Wang et al., 2001), na diminuição da qualidade de águas subterrâneas (Zuquette et al., 2009), na diminuição do nível de base de aquíferos (Rogers et al., 2006), na perda de vegetação e de sombra, reduzindo o material que entra na cadeia alimentar aquática (Booth & Jackson, 1997), na redução da evapotranspiração e da qualidade do ar (Wilson et al., 2003), no aumento da temperatura da água (Schueler, 1994), no empobrecimento da comunidade biótica (Schoonover et al., 2005; Tundisi et al., 2007), no aumento da poluição difusa provocada por poluentes dissolvidos na enxurrada, como metais pesados presentes em tintas, óleo, graxa e resíduos de rações para animais (Tang et al., 2005) e na redução da oferta de água para abastecimento (Lerner & Harris, 2009).

A redução da cobertura vegetal nativa atinge diretamente a qualidade das águas, pois aumenta a toxicidade, reduz ainda mais o nível dos rios devido ao assoreamento e eleva a turbidez, aumentando os custos de tratamento. Por outro lado, a manutenção da cobertura florestal contribui para a redução dos custos de tratamento. A conclusão consta do estudo de dados operacionais de sete estações de Tratamento de Água (ETAs) coordenado por Reis (2004). Segundo o autor, o custo para se

tratar 1.000 m³ de água no Sistema Cantareira, operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que abastece a região metropolitana de São Paulo, é de R\$ 7,20, enquanto que o custo correspondente no rio Piracicaba operado pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto (Semaes), é de R\$ 92,61, ou seja, 12,7 vezes superior. Destacando-se o aspecto da cobertura florestal como primeiro indicativo de saúde da bacia, verifica-se que a bacia do Sistema Cantareira possui 27,16% de sua área com cobertura florestal e a bacia do rio Piracicaba apenas 4,3%.

Em estudos no manancial do ribeirão do Feijão em São Carlos Cunha et al. (2011) salienta que a cobertura vegetal é determinante na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos e, também, consideram-se destacadamente a grande importância que tem o planejamento de uso do solo integrado aos demais instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos para manejo de daquela bacia hidrográfica.

O diagnóstico preciso do crescimento urbano é de grande interesse para os municípios por diversos propósitos, como planejamento urbano, manejo dos recursos terrestres e hídricos, alocação de infraestruturas e serviços. O monitoramento e a predição da expansão urbana são informações básicas de que necessitam os gestores locais de uso do solo e de recursos hídricos para o planejamento de longo prazo, antes que mudanças irreversíveis venham a ocorrer (Conway & Lathropet, 2005). Para um melhor planejamento urbano, as autoridades municipais precisam de ferramentas para monitorar como o solo é usado atualmente, e desta maneira, avaliar a demanda e tomar medidas para garantir a adequação da oferta futura (Jat et al., 2008).

Ainda hoje as técnicas convencionais de topografia e de mapeamento são caras e demandam tempo considerável para a

mensuração da expansão urbana, além disso, essa informação não está disponível para a maioria das cidades brasileiras. Sensoriamento remoto orbital e fotografias aéreas antigas são baratas e tecnologicamente eficazes e, por isso, são cada vez mais utilizadas para a análise da expansão urbana, considerando-se a área impermeabilizada (Dupas, 2001; Jat et al., 2008). A superfície impermeabilizada pode ser prevista, administrada, regulada e mitigada, além disso, é moeda comum entendida por planejadores, engenheiros, administradores, economistas e ecologistas, podendo ser medida com precisão usando sensoriamento remoto e SIG (Schueler et al., 2009).

Com base na conexão direta entre crescimento populacional e crescimento da superfície impermeabilizada, Conway & Lathropet (2005), enfatizam que em muitos locais nos Estados Unidos estão sendo criados cenários demográficos e de uso do solo, que simulam tendências e indicam o que provavelmente irá acontecer nas próximas décadas, culminando assim, em alternativas de ocupação menos impactantes. Cheng & Masser (2003) destacam que a associação de técnicas estatísticas de regressão linear, juntamente com sensoriamento remoto e SIG têm sido utilizados em muitos estudos de expansão urbana.

López et al. (2001) relacionaram o número de habitantes com a área coberta pela superfície impermeabilizada extraída de fotografias aéreas na cidade de Morelia, México. Desta análise foi gerado um modelo matemático, o qual foi utilizado para predição da superfície impermeabilizada futura. Preliminarmente, os autores relacionaram os anos (variável explanatória) com o número de habitantes (variável resposta). Desta análise, foi gerado um modelo matemático que possibilitou a previsão da população futura. O próximo passo foi alimentar o modelo matemático de predição da superfície impermeabilizada com os valores preditos para a população, tendo como resultado, a possibilidade de se prever a superfície impermeabilizada futura.

Jat et al. (2008) estimaram a expansão urbana da cidade de Ajmer, Índia. Como resultado, as predições para o ano de 2051 são de um incremento de 50,1% da população e de 160,8% da superfície impermeabilizada da cidade, sinalizando dispersão do tecido urbano

com maior consumo de terras e de recursos naturais, refletido na queda da densidade demográfica.

Desde 2008, mais da metade da população do planeta vive nas cidades (Tucci, 2008). No Brasil mais de 84% da população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010). Em alguns municípios de estados mais desenvolvidos, como no caso de estudo ora apresentado, este percentual ultrapassa 96% (SEADE, 2010), indicando uma taxa de urbanização e de crescimento urbano alarmantes.

As cidades brasileiras de médio e grande porte apresentam problemas ambientais graves no meio urbano e periurbano. A maioria dessas cidades apresentam tendência de urbanização dispersa e fragmentada, resultando em baixa densidade demográfica com rápido e extensivo consumo de território, infraestrutura e recursos naturais (Lacerda, 2005). Muitas vezes, esse modelo urbanístico predatório é motivado por interesses privados em detrimento dos sociais, desrespeitando as diretrizes de crescimento do município, as normas de loteamento e as APP's (Rolnik, 2009). Tal forma de urbanização tem sido responsável por ocupação em áreas de recarga direta do Aquífero Guaraní e em áreas vetadas como mananciais, que, devido à sua proximidade com as cidades, deveriam ser conservadas ou preservadas a fim de servir como reservas de água.

De acordo com (São Paulo, 2009) na região onde está localizada a área de estudo mais de 60% da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea já foi utilizada, sendo identificada grande tendência de aumento devido à concentração industrial e populacional prevista para as próximas décadas, o que acarretará intenso uso dos recursos água e solo.

Segundo SAEE (2010a), em 2009, aproximadamente 51,8% da água utilizada para abastecimento da cidade de São Carlos era proveniente de fontes superficiais dos mananciais do ribeirão do Feijão e do rio do Monjolinho, a outra parte, 48,2%, provinha de fontes subterrâneas. Neste sentido, diagnosticar e caracterizar previamente as áreas de mananciais que vêm sofrendo as consequências do uso do solo para fins urbanos é de grande valia para o planejamento territorial do município, antes que mudanças irreversíveis ocorram.

Complementando, Dupas (2001) enfatiza que o crescimento da cidade de São Carlos não obedeceu a critérios técnicos, legislativos e ambientais (geológicos, topográficos, pedológicos e de uso do solo), não foram realizadas avaliações periódicas e acompanhamento de indicadores sobre a qualidade ambiental, tendo a cidade sido regida pela especulação imobiliária, fator indutor do direcionamento da mancha urbana.

O presente trabalho constituiu-se do diagnóstico e caracterização das áreas que vêm sofrendo as consequências do uso do solo para fins urbanos, e também na proposição de cenários futuros de crescimento populacional e da superfície impermeabilizada da cidade de São Carlos, visando auxiliar o planejamento territorial regional e dos mananciais utilizados para abastecimento público.

LOCALIZAÇÃO E RECONHECIMENTO PRELIMINAR DA ÁREA DE ESTUDO

O município de São Carlos localiza-se na região sudeste do Brasil e central do estado de São Paulo, entre os paralelos 22°00' e 22°30' S e 47°30' e 48°00' W, a aproximadamente 230 Km a noroeste da cidade de São Paulo (Figura

1A). A área do município é de 1.140,92 Km²; a população em 2011 era de 224.828 habitantes dos quais 96% estão na área urbana (SEADE, 2012).

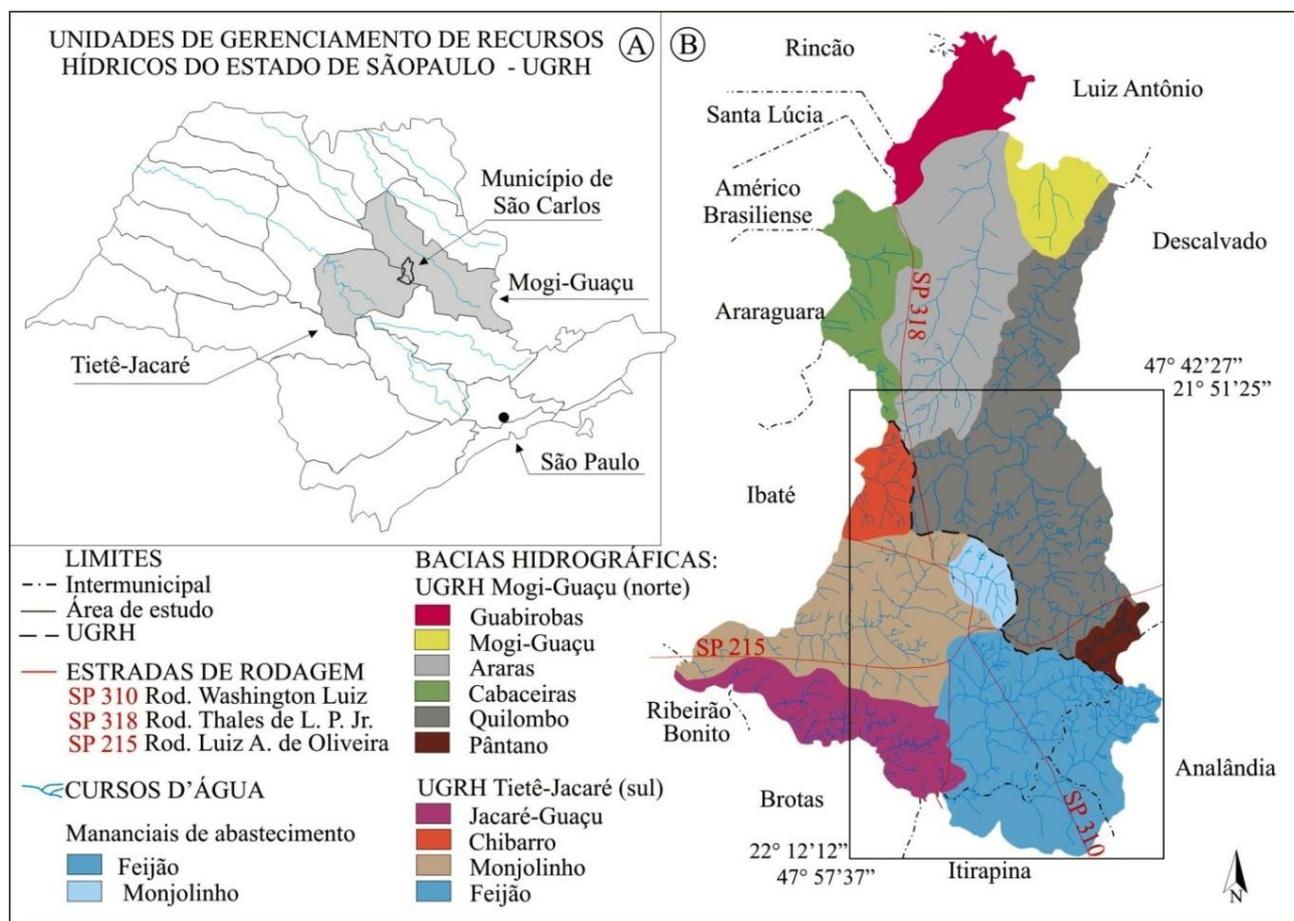


Figura 1 (A e B). Mapa de localização da área de estudo e mananciais de abastecimento. Fontes: adaptado de: (A) São Paulo (2009) e (B) Tundisi et al. (2007).

A área adotada para este estudo envolve um polígono limitado pelas coordenadas 21° 51' 25" e 22° 12' 12" latitude sul, 47° 42' 27" e 47° 57' 37" longitude oeste, a qual foi determinada de modo a abranger toda a área urbanizada e de

expansão urbana, bem como as bacias hidrográficas do rio do Monjolinho e ribeirão do Feijão, as quais servem como mananciais para abastecimento público (Figura 1B).

O município é dividido em nove sub-bacias hidrográficas e está localizado sobre o divisor de águas de duas UGRHI do Estado de São Paulo, ao norte a bacia hidrográfica do Mogi-Guaçu e ao sul a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré.

A bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão é considerada o manancial mais importante para a cidade de São Carlos e para a região, pois possui boa vazão. Ele tem sua nascente no alto do planalto de São Carlos, seu curso médio e alto drena uma região caracterizada por suaves ondulações esculpidas sobre os sedimentos arenosos cenozóicos e residuais da Formação Botucatu. Sua bacia hidrográfica faz divisa com os municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina. Está localizado na Área de Proteção Ambiental Corumbataí (Lei Estadual nº 20.960 de 1983) que visa proteger os ecossistemas aquáticos (rios, pântanos e represas) e terrestres da região central do Estado de São Paulo, abrangendo glebas de terras dos municípios de São Carlos, Itirapina, Brotas, Rio Claro e Corumbataí (Gonçalves, 1986; Nishiyama, 1991).

Usando a classificação de Köppen, o tipo climático do município de São Carlos é o **Cwa**, que abrange toda a parte central do Estado de São Paulo e é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, a média anual de pluviosidade é acima de 1.422 mm, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CEPAGRI, 2012). Segundo o balanço hídrico realizado na região por Mattos (1984, segundo Gonçalves, 1986) água armazenada representa em média $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ da precipitação mensal, o que caracteriza a região como área de recarga da Formação Botucatu.

O relevo é constituído por mesas e morros isolados, sendo que a configuração de planalto cortado por vales entalhados é uma das características das zonas de transição entre as “Cuestas” e o Planalto Ocidental. As menores

cotas, 775 metros, localizam-se em vales, enquanto as maiores no planalto, ultrapassando os 1.000 metros de altitude (Nishiyama, 1991).

A geologia é representada em quase sua totalidade por litologias da Bacia Sedimentar do Paraná, com predomínio da Formação Botucatu. Essa formação possui altos coeficientes de permeabilidade, sendo que a infiltração se dá basicamente na área aflorante caracterizada região como de recarga do Aquífero Guarani (Zuquette, 1981; Gonçalves, 1986).

Grande parte da área de estudo é formada por solos profundos compostos por Areias Quartzozas Profundas sobrejacente à geologia da Formação Botucatu, o que potencializa a permeabilidade (Zuquette, 1981).

Oliveira e Prado (1984, segundo Gonçalves, 1986), descreveram a vegetação natural da área de São Carlos e destacaram que nos solos muito profundos, excessivamente permeáveis e de baixo potencial nutricional, a vegetação primitiva mais comum era representada pelos cerrados e cerradões, enquanto que nos solos profundos, de textura argilosa, a vegetação natural predominante era a mata tropical subcaducifólia, da qual restam ainda pequenas áreas.

Henke-Oliveira (1996) alerta que a vegetação local tem sido reduzida a fragmentos florestais nos últimos anos, principalmente devido ao agronegócio bem como loteamentos. Costa (2010) em estudo realizado na mesma área de estudo verificou que 75,9% da cobertura do solo estão relacionadas às atividades ligadas ao agronegócio como pastagem, laranja, reflorestamento, solo exposto (preparado para o cultivo) e cana-de-açúcar; 16,9% são de fragmentos florestais e 7,2 de área urbana.

Segundo SEADE (2012) o PIB do município de São Carlos no ano de 2009 era caracterizada pela atividade agropecuária (2,3%), Indústria (33,12%) e os serviços (64,58%).

MATERIAIS

Para este trabalho, foram utilizados dados primários e secundários. Na Tabela 1 são

apresentadas as características das fotografias aéreas e das imagens de satélites utilizadas.

Tabela 1. Características das fotografias aéreas e das imagens de satélites.

Imagens	Fonte	Sensor	Data	Res. espacial	Bandas
Fotografia aérea	IAC	-	1962	1:25.000	-
	IBC	-	1972		-
Satélite LANDSAT 5	INPE	TM	10.06.1986	30 metros	5, 4 e 3
			04.05.1996		3, 4 e 2
Satélite Alos	JAXA	AVNIR-2	12.11.2006	10 metros	3, 2 e 1

Para a montagem do banco de dados foram utilizadas as cartas topográficas das cidades de São Carlos (SF-23-Y-A-I-1), Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2), Ibaté (SF-23-V-C-IV-3) e Descalvado (SF-23-V-C-IV-4) escala 1:50.000 (IBGE, 1971).

Os planos de informação do banco de dados digital georeferenciado foram elaborados

utilizando os aplicativos *Idrisi* versão Andes 15.0, *Global Mapper* V8.03, *AutoCAD* (2008), além de um GPS da marca *Garmim*, modelo *Etrex Summit*. Para efetuar as análises estatísticas foram utilizados os pacotes computacionais *Tinn-R* 2.3.4.4. e *R-2.10.1*, além do *Microsoft Excel* versão 2007.

MÉTODOS

A estrutura de execução do trabalho é apresentada no fluxograma da metodologia, Figura 2.



Figura 2. Fluxograma geral do método.

Os mapas foram georeferenciados com o sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Datum horizontal Córrego Alegre, Datum vertical Marégrafo de Imbituba e Meridiano Central 45° W. As fotografias

aéreas dos anos de 1962 e 1972 foram adquiridas em arquivos digitais na forma de mosaico de Dupas (2001). As imagens de satélites de 1986, 1996 e 2006 foram submetidas a técnicas de processamento digital

de imagens. Os dados demográficos foram coletados junto a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, SP (SEADE, 2010). A rede de drenagens, malhas viárias e bacias hidrográficas foram extraídas das cartas topográficas na escala 1: 50.000 (IBGE, 1971).

No caso em estudo, a superfície impermeabilizada se refere às áreas residenciais, comerciais, complexos industriais, incluindo ruas asfaltadas ou não, estradas e estacionamentos. Utilizando a metodologia proposta por Jansen (2009), foi realizada a digitalização manual em tela da mancha urbana sobre imagens de sensoriamento remoto via o aplicativo *Global Mapper*. Estas superfícies foram mensuradas transformando imagens vetoriais em booleanas, sendo as áreas posteriormente calculadas utilizando o programa *Idrisi Andes*.

Utilizando da metodologia proposta por Dupas (2001) e Costa (2010), a sobreposição das manchas urbanas, representando seu comportamento no tempo e no espaço, possibilitou o diagnóstico da situação atual da cidade de São Carlos, orientou a determinação

da tendência e dos vetores de crescimento da superfície impermeabilizada e, ainda, o redirecionamento do crescimento da mancha urbana.

Para a elaboração de cenários futuros de crescimento populacional e da superfície impermeabilizada foi utilizada a metodologia proposta por López et al.(2001) e Jat et al. (2008). Primeiramente foi elaborado um modelo matemático para representar o crescimento da população para as próximas décadas. Para isso, os anos de 1980 a 2009 foram relacionados com o número de habitantes. Na sequência, outro modelo matemático foi elaborado para representar a relação entre o crescimento populacional e o crescimento da superfície impermeabilizada. O próximo passo constituiu-se em alimentar o modelo matemático para a predição da superfície impermeabilizada com os valores preditos anteriormente para o crescimento populacional. Para verificar a distribuição normal dos erros foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), sendo estabelecido o nível de confiança de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da dinâmica da mancha urbana de 1962 a 2006.

Na Figura 3 encontram-se as manchas urbanas da cidade para os anos de 1962 e 1972 e os limites dos mananciais utilizados para abastecimento público extraídos de fotografias aéreas. Para 1986, 1996 e 2006 as mesmas informações foram extraídas de imagens orbitais no formato de composições coloridas falsa-cor. Destaca-se que as diferentes resoluções espaciais dos sensores utilizados para a delimitação das manchas urbanas não

comprometeram a quantificação da superfície impermeabilizada.

De acordo com Lima (2007), principalmente entre as décadas de 1950 e 1960, tornaram-se estratégia do setor imobiliário os investimentos em terrenos periféricos à área urbana consolidada de São Carlos, para aguardar sua valorização após a estruturação, constituindo assim, novos loteamentos. Com isso, o mercado imobiliário tornava-se cada vez mais especulativo, sendo um empecilho para a expansão equilibrada e organizada da cidade.

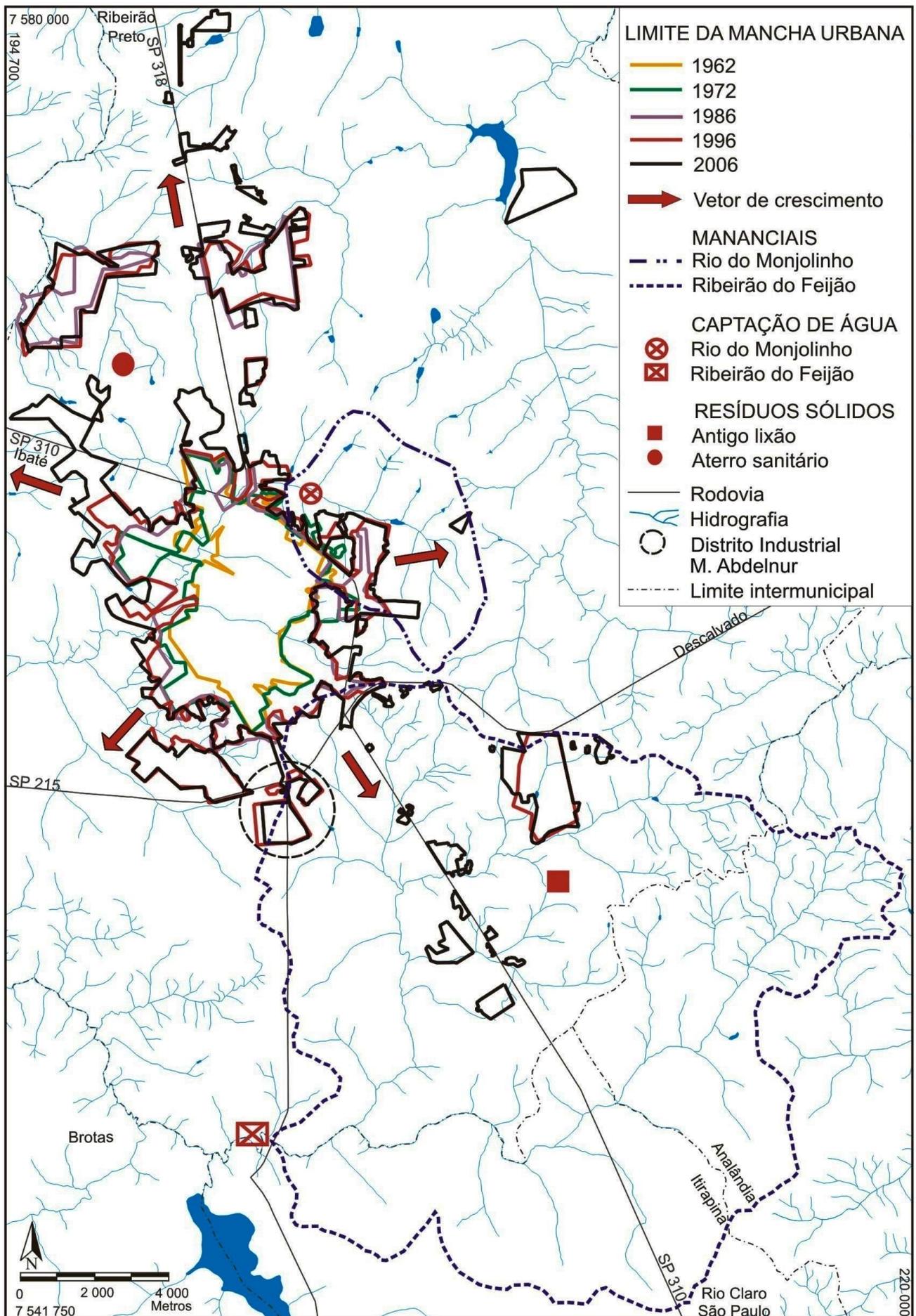


Figura 3. Avanço da superfície impermeabilizada sobre áreas de mananciais.

Esses loteamentos são verificados em 1962 nas regiões sudeste, nordeste e noroeste da mancha urbana. Nesse ano, já é observada a ocupação por áreas urbanas na bacia hidrográfica do rio do Monjolinho, que, segundo SAAE (2010b), desde 1960 é utilizada como manancial de água superficial para fins de abastecimento público. Embora esse comportamento pudesse comprometer a qualidade da água, uma vez que as águas residuárias de origem doméstica e de esgotos não tratados conduzem os corpos hídricos a um processo de poluição e de eutrofização, aumentando os custos de tratamento de água para abastecimento, tal comportamento era compreensível para a época, pois não se tinha a dimensão dos problemas que o avanço da superfície impermeabilizada poderia causar sobre um manancial. Ainda, o Código das Águas de 1934 não previa a preservação de áreas florestadas nas margens dos rios (Brasil, 1934), essa preocupação só se transformou em

lei com a criação do Código Florestal em 1965. Pode ser verificado, que em 1962 ainda não havia ocupação no manancial do Feijão.

Apesar da promulgação do Código Florestal que regulamenta as Áreas de Proteção Permanente - APP (Brasil, 1965), em 1972, é verificada a supressão de vegetação ripariana em alguns pontos no manancial do Monjolinho, bem como um aumento da superfície impermeabilizada de 0,5 Km² em 1962 para 1 Km² em 1972 abrangendo alguns afluentes (Figura 4). Também é observado um avanço em direção ao manancial do ribeirão do Feijão, que de acordo com SAAE (2010b) é utilizado para captação de água superficial desde 1971. Evidências de que esse crescimento não foi ambientalmente sustentado, são comprovadas no desmatamento e ocupação em áreas de nascentes e planícies de inundação dos córregos que atravessam a área urbana, ficando evidente o descumprimento da legislação existente.

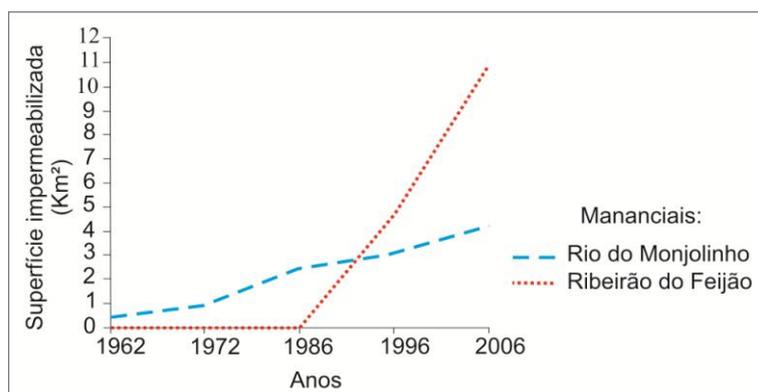


Figura 4. Evolução da superfície impermeabilizada em áreas de mananciais.

Em 1986 a superfície impermeabilizada continua avançando sobre o manancial do Monjolinho. A área urbana que era de 1 Km² em 1972 passa a ser de 2,4 Km² em 1986 descumprindo o Código Florestal que já prevê a preservação das matas ciliares (Brasil, 1965). Na região sudeste da área de estudo, o crescimento chega às bordas do manancial do Feijão e nas áreas a noroeste surgem novos loteamentos, fazendo com que a mancha urbana apresente novo padrão, agora mais espalhado e fragmentado.

Na Figura 3 observa-se que em 1996 a superfície impermeabilizada continua crescendo de forma fragmentada, caracterizada pelo aparecimento de novos núcleos urbanos afastados a sudoeste. A superfície

impermeabilizada continua invadindo o manancial do rio do Monjolinho passando de 2,4 Km² em 1986 para 3,1 Km² em 1996. Na região sudeste já é verificado 4,7 Km² de área urbana no manancial do Feijão constituindo-se de áreas residenciais e industriais, o que certamente marcou a mudança na qualidade da água do manancial devido ao lançamento de esgotos domésticos e industriais e a poluição difusa carregada pelas águas pluviais.

Com vistas a proteger os mananciais de águas superficiais e subterrâneas, em 28 de novembro de 1997 é promulgada a Lei Estadual de Proteção dos Mananciais que dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação da qualidade ambiental das bacias hidrográficas que servem como mananciais

para abastecimento do Estado de São Paulo. Segundo esta lei, as águas dos mananciais são prioritárias para o abastecimento público em detrimento de qualquer outro interesse (São Paulo, 1997).

Apesar de previsto desde 2001 com a promulgação do Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), o Plano Diretor do Município de São Carlos foi aprovado somente em 25 de novembro de 2005 por meio da Lei Municipal N° 13.691 (São Carlos, 2005). A partir dessa lei, as bacias hidrográficas do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão são consideradas Áreas de Proteção e de Recuperação dos Mananciais, apresentando restrições ao crescimento urbano, o que deveria conter o crescimento da mancha urbana nessas áreas.

Mesmo sendo considerado elemento importante, os planos diretores urbanos articulados proíbem o uso do solo urbano de maneira que possa comprometer a qualidade da água de abastecimento (Tucci et al., 2001). Mas, apesar da restrição imposta pelo Plano Diretor Municipal, a ocupação urbana continuou avançando sobre os mananciais do rio do Monjolinho e do ribeirão do Feijão em 2006. No manancial do Monjolinho foi constituída uma área urbana de 4,2 Km² representando 17,4% de superfície impermeabilizada na bacia hidrográfica. No manancial do Feijão, novos loteamentos surgem próximos a rodovia Washington Luiz (SP 310) incluindo parcelamentos de solo aprovados e registrados e parcelamento clandestino e irregular (São Carlos, 2005); também é observada maior concentração industrial no Distrito Industrial Miguel Abdelnur, próximo a rodovia Luiz Augusto de Oliveira (SP 215), resultando em 10,9 Km² ou 4,9% de superfície impermeabilizada no manancial.

Considerando os limiares de 10 a 15% de superfície impermeabilizada em uma bacia hidrográfica, nos quais se verifica um declínio na saúde dos corpos hídricos que a drenam, como observado em estudos realizados nos Estados Unidos (Schueler, 1994; Wang et al., 2001; Conway & Lathropet, 2005; Schoonover et al., 2005; Randhir & Ekness, 2009; Schueler et al., 2009) e aqui, utilizados somente como grandezas, não descartando a necessidade de estudos regionais específicos, observa-se que o

manancial do rio do Monjolinho encontra-se degradado, enquanto que no manancial do ribeirão do Feijão, embora não atinja o referido limiar, é verificado declínio na qualidade da água superficial (Tundisi et al., 2007) e subterrânea (Zuquette et al., 2009), o que oferece risco ao abastecimento de São Carlos.

Como agravante, constata-se que em 2010 ainda existe interesse em ampliar os loteamentos nessas áreas. Um projeto de lei de 2006, por exemplo, solicita a alteração do Plano Diretor Municipal para beneficiar loteamentos no manancial do ribeirão do Feijão, permitindo que esse manancial seja cada vez mais degradado em função dos interesses privados sobre os sociais. Esse cenário indica que o Plano Diretor Municipal poderá ter poucos resultados no tocante à conservação e proteção das áreas de mananciais.

Verifica-se que, nos anos de 1962 e 1972, a urbanização apresenta forma concentrada, diferente da tendência observada para os anos posteriores de 1986, 1996 e 2006 nos quais a superfície impermeabilizada apresenta padrão disperso e fragmentado, resultando em maior consumo de recursos naturais e infraestrutura.

Sintetizando 44 anos de evolução da mancha urbana de São Carlos observa-se que a superfície impermeabilizada está crescendo para dentro dos mananciais, já que novos bairros foram criados sobre o eixo noroeste, leste, oeste e sudeste impulsionados pela facilidade de transporte e especulação imobiliária. Segundo São Carlos (2005) quando da elaboração do Plano Diretor Municipal havia nove loteamentos clandestinos e irregulares no município (Figura 3).

Além disso, segundo Costa (2010) esses mananciais são marcados pelo uso intensivo do solo devido às atividades relacionadas ao agronegócio como a pecuária, a cultura de cana-de-açúcar e de laranja e ao reflorestamento que necessitam de um significativo volume de água e são fontes de poluição. De acordo com Zuquette et al., (2006), por serem de ciclo longo, essas culturas fazem com que as taxas de permeabilidade do solo sejam diminuídas.

Cenários futuros de crescimento populacional e da superfície impermeabilizada.

Pelos dados censitários de São Carlos de 1980 até 2009, os cenários de crescimento populacional determinados mostram que a população rural manteve-se praticamente estável enquanto que a população urbana

apresentou crescimento significativo. Em 2009 a população era de 226.789 habitantes, sendo 96,4% (218.598) concentrados na área urbana e 3,6% (8.191) na zona rural.

Tendo em vista o comportamento urbano da população, os modelos matemáticos podem prever o crescimento populacional (Figura 5).

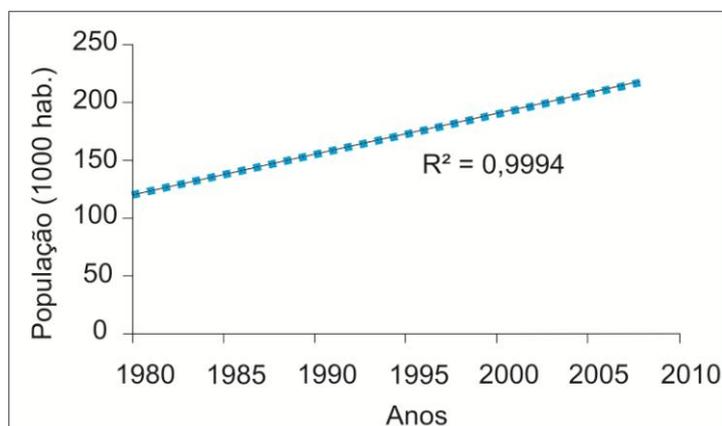


Figura 5. Evolução da população da cidade de São Carlos entre 1980 a 2009.

Desta forma, a Equação 1 foi adotada para a projeção da população:

$$y = 3,7917x - 7390,6 \quad (1)$$

Onde y é a população em milhares e x é o ano.

Como o crescimento populacional tem relação direta com o crescimento da mancha urbana, na Figura 6 são apresentados os dados de 1962 a 2006 fundamentados no modelo de regressão linear que representou, de forma

satisfatória, o crescimento da superfície impermeabilizada da cidade. A relação entre a população (variável exploratória) e a superfície impermeabilizada (variável resposta) indica forte correlação positiva entre os dados que foram ajustados por meio da Equação (2).

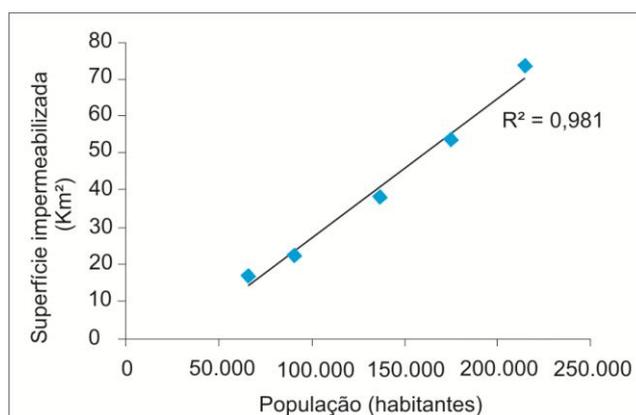


Figura 6. Relação entre a população e a superfície impermeabilizada para os anos de 1962, 1972, 1986, 1996 e 2006 da cidade de São Carlos, SP.

$$y = 0,0004x - 9,8147 \quad (2)$$

Os resultados da projeção do crescimento populacional oriundo do modelo elaborado anteriormente são projetados em conjunto com

os dados das áreas e projeções verificadas para a mancha urbana (superfície impermeabilizada) até 2050 (Tabela 2 e Figura 7).

Tabela 2. Estatísticas de crescimento populacional e de área impermeabilizada da cidade de São Carlos, SP.

	Ano	Área (km ²)	Incremento na SI* (%)	População (habitante)	Incremento na população (%)	Densidade (Hab/km ²)
Dados	1962	18,04	-	66.312	-	3.675,8
	1972	23,07	27,9	91.214	37,6	3.953,8
	1986	38,45	66,7	139.162	52,6	3.619,3
	1996	54,20	41,0	177.222	27,3	3.269,8
	2006	73,95	36,4	216.266	22,0	2.924,5
Cenários	2010	82,47	11,5	230.717	6,7	2.797,5
	2020	97,64	18,4	268.634	16,4	2.751,3
	2030	112,81	15,5	306.551	14,1	2.717,5
	2040	127,97	13,4	344.468	12,4	2.691,7
	2050	143,14	11,9	382.385	11,0	2.671,4

Legenda: *Superfície impermeabilizada ou mancha urbana.

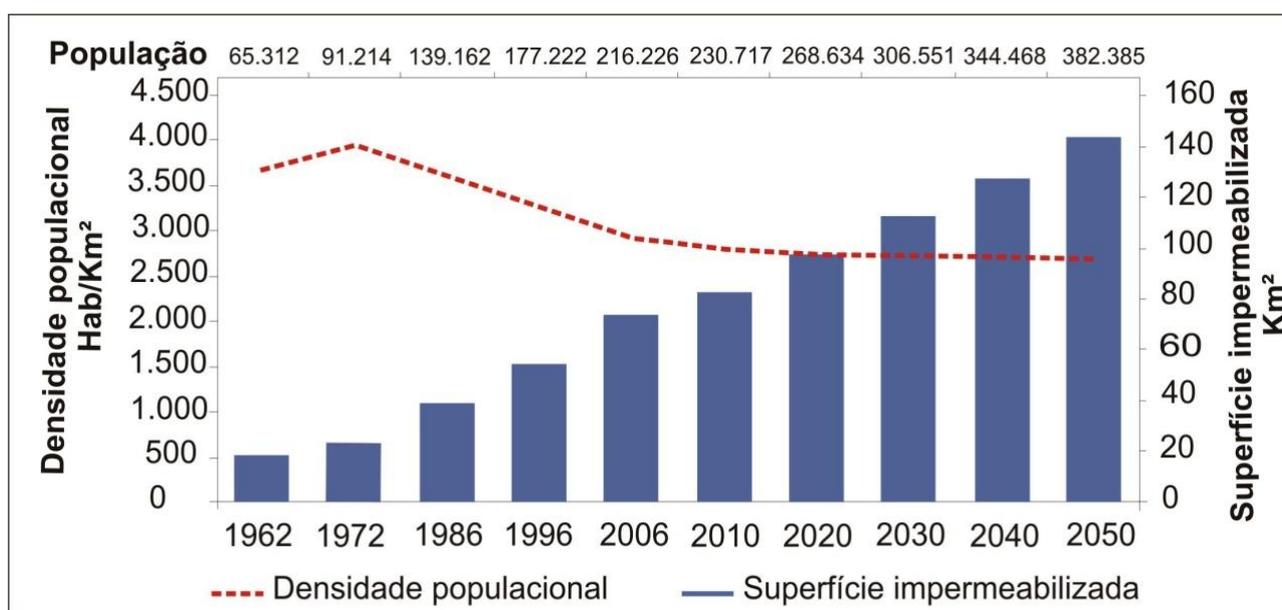


Figura 7. Representação gráfica de cenários preditivos do crescimento populacional e da superfície impermeabilizada da cidade de São Carlos, SP.

Para o período de 1962 a 1972, verifica-se que a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada (27,9%) foi menor que a taxa de crescimento da população (37,6%), apresentando uma singularidade frente aos próximos períodos analisados. A explicação para essa diferença está no fato de que o incremento populacional registrado até 1972 foi alocado nas áreas expandidas durante as décadas de 1950 e 1960, conforme descrito por Lima (2007). Esse comportamento fez com que o número de habitantes por Km² aumentasse, passando de 3.675,8 para 3.953,8.

Para o período de 1972 a 1986, a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 66,7% e a taxa de crescimento da população foi de 52,6%, conseqüentemente, a densidade populacional, que reflete o espalhamento da mancha urbana caiu de 3.953,8 para 3.619,3 Hab/Km², determinando maior consumo do espaço e dos recursos naturais.

No período de 1986 a 1996 a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 41%, ao passo que a taxa de crescimento da população foi de 27,3%, com isso, o número de habitantes por Km² diminuiu de 3.619,3 para

3.269,8 Hab/Km², denotando em espalhamento do tecido urbano e também maior consumo do espaço e dos recursos naturais.

De 1996 a 2006, a taxa de crescimento da superfície impermeabilizada foi de 36,4% e a taxa de crescimento da população de 22%, com isso o número de habitantes por Km² passou de 3.269,8 para 2.924,5, refletindo em espalhamento da superfície impermeabilizada.

Sintetizando 44 anos de crescimento urbano de São Carlos, as estatísticas revelam que a taxa de urbanização superou a taxa de crescimento populacional. De 1962 a 2006, a população do município cresceu 226,1%, enquanto que a quantidade de lotes urbanizado cresceu perto de 309,9%. Esse comportamento implica que o consumo *per capita* de área para fins urbanos tem aumentado nas últimas quatro décadas.

Comportamento similar tem sido constatado em outros países. Jantz et al. (2005, segundo Schueler et al., 2009) constataram que a superfície impermeabilizada tem crescido num ritmo maior que a população em algumas localidades dos Estados Unidos. Segundo os autores, o padrão não adensado e fragmentado da superfície impermeabilizada, leva a um consumo excessivo de terras e recursos naturais, além de aumentar a área influenciada pela poluição difusa, originada pela urbanização.

Considerando o período de 2006 a 2050, verifica-se um substancial aumento populacional de 76,8%, passando dos 216.266 habitantes no ano de 2006 para 382.385 no ano de 2050, ou seja, um aumento de 166.119 habitantes. Com relação ao crescimento da superfície impermeabilizada no mesmo período, estima-se um aumento significativo da ordem de 93,6%, passando dos 74 Km² já contabilizados no ano de 2006 para 143,1 Km² previstos para 2050, representando um acréscimo de aproximadamente 69,2 Km². O

crescimento urbano está direcionado para as regiões norte, nordeste, noroeste e sudoeste.

É previsto que, apesar da população não dobrar no período, a superfície impermeabilizada é duplicada. Uma maior taxa de crescimento da superfície impermeabilizada é refletida na densidade populacional, onde é observada tendência de queda de aproximadamente 8,7% para o mesmo período. Esta análise revelou que a densidade populacional diminuiu devido ao desenvolvimento de novas áreas, o que indica dispersão do tecido urbano, refletindo em maior consumo de área e de recursos naturais.

Avaliação do modelo de exploração dos recursos hídricos

A ausência de controle de poluição e o aumento da exploração de água subterrânea são preocupantes, pois mais de 70% dos municípios do Estado de São Paulo já são totalmente ou parcialmente abastecidos por fontes subterrâneas provenientes de grandes aquíferos como o Guarani, o que pode gerar uma superexploração com consequências graves como o rebaixamento do nível potenciométrico, e conseqüentemente, a redução de água superficial (ABAS, 2005). Como agravante, segundo ANA (2007), ainda são controversos os cálculos das reservas explotáveis dos aquíferos, assim como os impactos exercidos nas regiões de recarga.

Em 1989 o sistema de abastecimento público da cidade de São Carlos contava com três captações de água superficial, a do ribeirão do Galdino, a do ribeirão do Feijão e a do rio do Monjolinho, juntas, estas captações correspondiam por 91,4% da demanda hídrica total. Já as águas subterrâneas, eram retiradas em 10 poços profundos no Arenito Botucatu, correspondendo a 8,6% da demanda (

Tabela 3 e Figura 8).

Tabela 3. Dados referentes à origem e demanda por recursos hídricos da cidade de São Carlos, SP. Fonte: SAAE (2010a), *SAAE (1989, segundo Dupas, 2001).

Ano	População	Dados	Captações de água superficial			Total de água superficial	Total de água subterrânea	Total	Consumo Per capita L/hab.dia
			Ribeirão Galdino	Ribeirão Feijão	Rio Monjolinho				
		Nº poços	-	-	-	-	10		
1989*	150.027	Vazão (l/s)	50	364	180	594	56	650	374,3
		%	7,7	56	27,7	91,4	8,6		

		N° poços	-	-	-	-	22		
1999	188.845	Vazão (l/s)	-	193,7	216,5	410,2	351,3	761,5	348,4
		%	-	25,4	28,4	53,9	46,1		
		N° poços	-	-	-	-	21		
2009	226.789	Vazão (l/s)	-	246,3	225,9	472,3	439,2	911,4	347,2
		%	-	27,0	24,8	51,8	48,2		

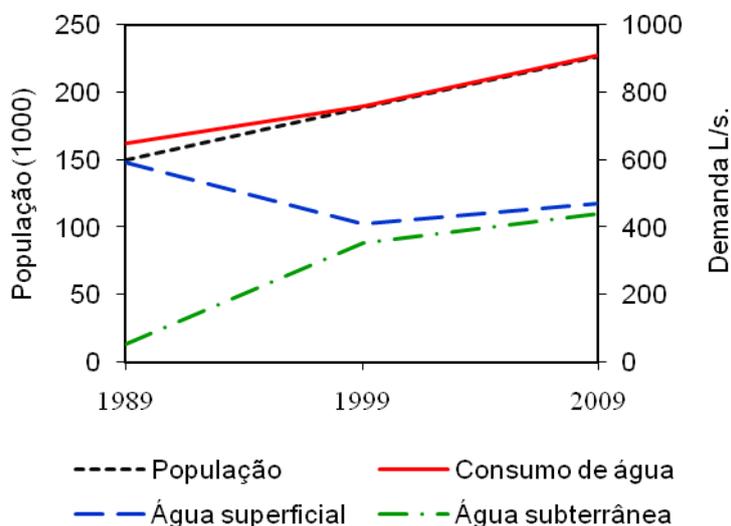


Figura 8. Modelo de exploração dos recursos hídricos.

Neste período (1989), a população de São Carlos era de 150.027 habitantes consumindo cerca de 650 L/s, representando uma demanda per capita de 374,3 L/hab.dia. Passados 10 anos, em 1999, a captação do Galdino (captada no manancial do córrego Santa Maria Madalena) não estava mais em operação por problemas de qualidade da água ocasionados pela urbanização. Por outro lado, os poços profundos mais que dobraram, passando de 10 para 22.

Comparando as taxas de crescimento da população com as taxas de crescimento da demanda hídrica, pode ser verificado que de 1989 a 2009 a população cresceu 51,2% passando dos 150.027 para 226.789 habitantes, neste período a demanda hídrica total aumentou 40,2%, passando de 650L/s para 911,4 L/s. Este maior incremento da população, se comparada à demanda hídrica, fez com que a demanda per capita diminuísse 7,2%, passando de 374,3 L/s para 347,2 L/s, o que sugere tímidas mudanças no comportamento dos consumidores em direção a um consumo racional.

Pela Figura 8 verifica-se que para o período de 1989 a 2009 a captação superficial decresceu

20,5%, passando dos 594 L/s para 472,3 L/s, enquanto que a exploração de fontes subterrâneas teve um incremento de 684,2% passando dos 56 L/s para 439,2 L/s.

Este cenário evidencia uma mudança no modelo de exploração dos recursos hídricos, que antes era baseado em fontes superficiais e ora se mostra dependente da exploração de fontes subterrâneas orientado na abundância, facilidade de exploração e baixos custos de tratamento de águas subterrâneas, o que, sem dúvida, contribui e privilegia a degradação, poluição e não a conservação dos mananciais de água superficial.

A importância estratégica dos mananciais superficiais fica evidente quando considerada a combinação para o ano de 2050 de uma população de 382.385 habitantes (+76,8%) abrangendo uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km² (+93,6%). Este cenário de degradação dos mananciais superficiais e uma superexploração das fontes subterrâneas indicam que o estresse hídrico irá aumentar consideravelmente na região de São Carlos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de 44 anos de expansão urbana e de crescimento populacional da cidade de São Carlos, apesar do desconhecimento do ideal de expansão da área impermeabilizada em relação ao crescimento populacional, evidenciou que a superfície impermeabilizada aumentou 309,9% enquanto que a população aumentou 226,1%. Este comportamento mostrou uma forma espalhada e fragmentada de expansão da mancha urbana. As consequências da ocupação do solo de maneira desordenada implicam que o comportamento da área impermeabilizada é refletido no avanço da ocupação em áreas de mananciais, fragmentando a cobertura vegetal natural remanescente e consequentemente a vegetação ripariana.

Como agravante, a ausência de regulação adequada e a não aplicação das leis existentes de uso e ocupação do solo por parte do poder público municipal, estadual e federal, e o uso indiscriminado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, poderá condenar a qualidade e a quantidade desse recurso para os cidadãos. No entanto, verifica-se que até o momento as questões relacionadas às disparidades entre o crescimento urbano, crescimento da demanda hídrica e a conservação dos mananciais foram contornadas construindo mais poços artesianos para aumentar a oferta de água. Tal uso se torna eficiente a curto prazo, mas tende a ser ineficaz no decorrer dos anos, pois o aquífero tende a diminuir as vazões explotáveis (Dupas, 2001; Costa, 2010).

Ao simular cenários de crescimento populacional e de superfície impermeabilizada para as próximas décadas, a importância da projeção do crescimento urbano ficou evidente, pois possibilita que áreas disponíveis sejam quantificadas e preparadas a fim de auxiliar no planejamento urbano e na utilização dos recursos hídricos. Em 2050 é previsto para São Carlos uma população de 382.385 habitantes e uma superfície impermeabilizada de 143,1 Km². Desta forma, as estimativas ora apresentadas contribuirão para a alocação de pessoas de maneira formal, evitando-se locais como os mananciais de abastecimento de água,

ou ainda, expandindo os limites da cidade de forma fragmentada.

Finalizando, o crescimento populacional, a falta de conhecimento técnico e o despreparo político do executivo municipal levam a encarar a natureza apenas como uma grande fornecedora de recursos naturais, mesmo havendo arcabouço legal para garantir o uso do solo de maneira planejada de forma a garantir recursos para as futuras gerações. Como o executivo municipal está à frente da condução das políticas municipais, deve exercer com clareza os aspectos técnicos e financeiros onde estão envolvidos os recursos naturais em termos de planejamento das demandas. Neste caso, um dos instrumentos legais do executivo é o Plano Diretor Participativo que deve atender de maneira satisfatória à população por meio de programas, e prestar contas de maneira clara e participativa sobre os resultados do plano que está sendo implantado. Contudo, levando-se em conta os dados e resultados desta pesquisa, fica nítido que não é isto que ocorre atualmente. Considerando que não é por desconhecimento técnico, pois o Plano Diretor Participativo foi aprovado em 2005, tal situação parece ser fortemente determinada pela má fé dos executivos à mercê de especuladores imobiliários que, na maioria das vezes, ditam as regras. A fragilidade do executivo é aparente e pode ser destacada como um dos principais motivos para que a população, também desinformada, fique exposta à perversidade dos interesses puramente econômicos de poucos sobre os interesses coletivos. A exemplo disso podemos destacar a proposta de Projeto de Lei (que dispõe sobre a criação das áreas de proteção e recuperação dos mananciais do município) em tramitação no legislativo municipal, que propõe o loteamento da bacia hidrográfica manancial do ribeirão do Feijão em módulo de 3.000 m² com possibilidade de desmatamento de até 50% da área, contrariando frontalmente o Plano Diretor Participativo existente. Atitudes como esta privilegiam apenas alguns e prejudicam toda uma comunidade que poderia usufruir deste excelente manancial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio financeiro. A Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento para o processo 98/10924-3 vinculado ao IIE - Instituto Internacional de Ecologia de São Carlos com colaboração da UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá, UEL - Universidade Estadual de Londrina e a UFSCar - Universidade Federal de São Carlos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. 2005. Disponível em: <<http://www.abas.org.br/arquivos/aguasf.pdf>> Acesso em: 26.06.2012.
2. ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil**. In. Caderno de Recursos Hídricos, 2, Brasília - DF, 2007.
3. BOOTH, D. B. & JACKSON, C. R. Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n. 5, p. 1077-1090, 1997.
4. BRASIL. **Decreto nº 24.643**. Decreta o Código das Águas. Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934.
5. BRASIL. **Lei nº 4.771**. Institui o novo Código Florestal. Brasília, DF, 15 de novembro de 1965.
6. BRASIL. **Lei nº 10.257**. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal. Estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília, DF, 10 de julho de 2001.
7. CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acessado em: 23.06.2012.
8. CHENG, J & MASSER, I. Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China. **Landscape and Urban Planning**, v. 62, p. 199–217, 2003.
9. CONWAY, T. M. & LATHROPET, R. G. Alternative land use regulations and environmental impacts: assessing future land use in an urbanizing watershed. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, p. 1–15, 2005.
10. COSTA, C. W. **Expansão da mancha urbana e suas consequências sobre mananciais de São Carlos, SP**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select_action=&co_autor=145831> Acesso em 26.06.2012.
11. CUNHA, R. C.; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D.; TUNDISI, J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando Inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011
12. DUPAS, F. A. **Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais: Redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG** - Estudo do caso de São Carlos, SP. São Carlos, 2001. 64 p. Tese – (Pós-Doutoramento em Planejamento urbano e regional) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.
13. GONÇALVES, A. R. L. **Geologia ambiental da área de São Carlos**. São Paulo, 1986. 138 p. Tese (Doutorado em Geologia geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
14. HENKE-OLIVEIRA, C. H. **Planejamento ambiental na cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas**. São Carlos, 1996. 181 p. Dissertação - (Mestrado em Ecologia e

Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos.

15. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas topográficas**. Folhas SF 23-Y-A-I-1, SF-23-Y-A-I-2, SF-23-V-C-IV-3, SF-23-V-C-IV-4. Escala 1:50.000, 1971.

16. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010: população do Brasil**. Disponível em

17. <
http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1766 >. Acessado em 23.06.2012.

18. INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo de imagens. LANDSAT 5, 1986, 1996**. Disponível em < www.inpe.br >. Acessado em 09.04.2010.

19. JANSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP. 598p., 2009.

20. JAT, M. K.; GARG, P. K.; KHARE, D. Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.10, n. 1. p. 26–43, 2008.

21. JAXA – EARTH OBSERVATION RESEARCH CENTER - Satélite ALOS - Advanced Land Observing Satellite. Disponível em <
<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/index.htm>>. Acesso em: 08.09.2008.

22. LACERDA, N; et al. Planos Diretores Municipais. Aspectos Legais e Conceituais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 7 n. 1, p. 55-72, Maio 2005.

23. LERNER, D.N. & HARRIS, B. The relationship between land use and groundwater resources and quality. **Land Use Policy**, v. 26, supl.1, p. 265–273, 2009.

24. LIMA, R. P. **O processo e o (des)controle da expansão urbana de São Carlos (1857 – 1977)**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

25. LÓPEZ, E; BOCCO, G; MENDOZA, M; DUHAU, E. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia

city, Mexico. **Landscape and Urban Planning**, v. 55, n.4, p. 271–285, 2001.

26. NISHIYAMA, L. **Mapeamento geotécnico preliminar da quadrícula de São Carlos – SP**. São Carlos, 1991. 228 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

27. RANDHIR, T.; EKNESS, P. Urbanization effects on watershed habitat potential: a multivariate assessment of thresholds and interactions. **Ecohydrology**. v. 2, p. 88–101, 2009.

28. REIS, L. V. S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba**. 2004. 215 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.

29. ROGERS, P. P.; LLAMAS, M. R.; CORTINA, L. M. **Water crisis: myth or reality?** 1 ed. Taylor & Francis, 2006.

30. ROLNIK, R. La democracia em el filo de la navaja: limites y posibilidades para la implementación de una agenda de reforma urbana en Brasil. **Eure**, Sección Artículos, vol. XXXV, n. 104, abril, 2009.

31. SAAE (a) SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SÃO CARLOS, SP. **Relatórios de produção de água de 1994 a 2009**. (mensagem pessoal) Mensagem recebida de: <sca@saaesaocarlos.com.br>. em: 28.01.2010.

32. SAAE (b) SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO. **A rede de água em São Carlos**. Disponível em: <http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/rede_agua.htm>. Acessado em 18.05.2010.

33. SÃO CARLOS. **Plano Diretor Municipal de São Carlos**. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/utilidade-publica/plano-diretor.html>>. Acessado em 07.04.2010.

34. SÃO PAULO. **Lei nº 9.866**. Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do estado de São Paulo. São Paulo, SP, 28 de novembro de 1997.

35. SÃO PAULO. **Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo: ano base**

2007. Secretaria do Meio Ambiente; Coordenadoria de Recursos Hídricos. São Paulo: SMA/CRH, 149 p., 2009.
36. SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados de população**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/index.php?page=tabela>>. Acessado em 25.02.2010.
37. SEADE - FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados de população**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>>. Acessado em 25.06.2012.
38. SCHOONOVER, J. E.; LOCKABY, B. G.; PAN, S. Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in Western Georgia. **Urban Ecosystems**, v. 8, n. 1, p. 107–124, 2005.
39. SCHUELER, T.; The importance of imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, v.1, n 3, p. 100-111, 1994.
40. SCHUELER, T.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPIELLA, K. Is Impervious Cover Still Important? Review of Recent Research. **Journal of Hydrologic Engineering**. v. 14, n. 4. p. 309-315, 2009.
41. SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.
42. TANG, Z. et al. Forecasting land use change and environmental impact at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, v. 76, n. 1, p. 35-45, 2005.
43. TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: Unesco, 192p, 2001.
44. TUCCI, C. E. M. Gestão integrada das águas urbanas. **Revista de Gestão de Águas da América Latina - REGA**, v. 5, n. 2, p. 71–81, 2008.
45. TUNDISI, J. G. et al. **Uso atual e potencial do solo no município de São Carlos, SP** – base do planejamento urbano e rural. Instituto Internacional de Ecologia. FAPESP - Políticas Públicas – Processo 98/10924-3, 2007.
46. WANG, L. & LYONS, J. KANEHL, P. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. **Environmental Management**, v. 28, n. 2, p. 255–266, 2001.
47. WILSON, J. S; CLAY, M; MARTIN, E; STUCKEY, D; VEDDER-RISCH, K. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, n. 3, p. 303–321, 2003.
48. ZUQUETTE, L. V. **Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos**. 1981. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
49. ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B.; PEJON, O. J. Initial assessment of the infiltration and overland flow for different rainfall events in land constituted of sandstones of the Botucatu Formation (Guarani Aquifer), State of São Paulo, Brazil. **Environmental Geology**, v. 50, n. 3, p. 371-387, 2006.
50. ZUQUETTE, L. V.; PALMA, J. B.; PEJON, O. J. Methodology to assess groundwater pollution conditions (current and pre-disposition) in the São Carlos and Ribeirão Preto regions, Brazil. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 68, n. 1, p. 117-136, 2009.

*Manuscrito recebido em: 01 de fevereiro de 2012
Revisado e Aceito em: 25 de abril de 2013*