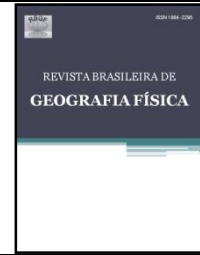




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Naturalidade da paisagem verificada por meio de indicadores ambientais: manancial do Rio Monjolinho, São Carlos-SP

Fabio Leandro da Silva¹, Erica Zanardo Oliveira², Caroline Picharillo³, Mayara Herrmann Ruggiero⁴, Carlos Wilmer Costa⁵, Luiz Eduardo Moschini⁶

¹ Universidade de São Paulo. fabioleodasilva@gmail.com (autor correspondente). ² Universidade Federal de São Carlos. erica.zanardo@gmail.com. ³ Universidade de São Paulo. carol.gestao012@gmail.com. ⁴ Universidade Federal de São Carlos. mayara.hruggiero@gmail.com. ⁵ Universidade Federal de São Carlos. carloswilmercosta@gmail.com. ⁶ Universidade Federal de São Carlos. lemoschini@ufscar.br.

Artigo recebido em 27/01/2017 e aceito em 02/04/2017

RESUMO

A intensificação da urbanização, industrialização e o aumento das áreas destinadas ao agronegócio geram impactos negativos nos ecossistemas, modificando seus processos naturais. Torna-se necessário o emprego de indicadores ambientais que fomentem as tomadas de decisões para minimizar os impactos gerados pelas atividades humanas. Este trabalho objetivou aplicar o Índice de Urbanidade (IB) e o Índice de Qualidade Ambiental de Recursos Hídricos (IQA-Hidro) na bacia do Rio Monjolinho a fim de verificar o quanto as atividades humanas alteram a naturalidade da paisagem. Os métodos foram baseados na álgebra de mapas com o uso do software ArcGIS®, seguidos de uma análise integrada com os índices e atributos ambientais. Os resultados mostraram que 91,46% da área da bacia encontra-se em situação de degradação das paisagens naturais. Este cenário contribui para a perda da capacidade da bacia em prestar serviços ecossistêmicos, como o fornecimento de água para o abastecimento da cidade de São Carlos.

Palavras-chave: geoprocessamento, recursos hídricos, planejamento territorial, indicadores ambientais.

Landscape naturalness verified by environmental indicators: Monjolinho River manantial, São Carlos-SP

ABSTRACT

The intensification of urbanization, industrialization and the increase of areas destined to agribusiness can generate negative impacts on ecosystems, changing its natural processes. The employment of environmental indicators becomes necessary to foment the decision making in the order to minimize the impacts occasioned by human activities. This work aimed to apply the Urban Index (IB) and the Environmental Quality of Hidric Resources Index (IQA-Hidro) in the Monjolinho Watershed to verify how human activities alter the landscape naturalness. The methods for elaboration of indexes were based on map algebra using the software ArcGIS® and an integrated analysis with the indexes and environmental attributes. The results showed that 91.46% of the area are in a degradative situation of natural landscapes. This scenario contributes to the loss of the basin's capacity to provide ecosystem services, such as the water to supply the city of São Carlos.

Keywords: greoprocessing, hidric resources, territorial planning, environmental indicators.

Introdução

Paisagem pode ser entendida como o resultado da combinação dinâmica e, portanto, instável dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, que interagindo dialeticamente uns com os outros, fazem dela um conjunto único e indissociável em contínua evolução (Bertrand, 1968). Cada vez mais as paisagens têm sido inseridas no planejamento do território e nos estudos de impacto ambiental, enfatizando sua

importância ecológica e socioeconômica (Tabacow e Silva, 2011).

A valoração dos usos das funções da natureza no planejamento da paisagem busca resguardar a capacidade de auto-regeneração da mesma, tornando-se, dessa forma, imprescindível que o planejamento considere os limites e as funções da natureza na transformação e ocupação da paisagem (Belem e Nucci, 2011).

Não obstante, tanto nos países desenvolvidos (Nelson e Moore, 1996; Hasse e Lathrop, 2003; Alfasi e Portugali, 2004) quanto nos

países em desenvolvimento, (Lee e Choe, 2011; Palacio, 2012; Terzi e Bölen, 2012), o que se observa é um planejamento ainda incipiente da paisagem, o qual encontra dificuldades de integrar desenvolvimento urbano, industrial e agrícola com a preservação ambiental. As prioridades de desenvolvimento pautam-se sobre a extração dos recursos naturais para atender às necessidades e ambições humanas, desconsiderando-se a capacidade de suporte e a resiliência dos ecossistemas (Ravenga, 2005; Tundisi, 2010), resultando na perda de importantes serviços ecossistêmicos (i.e. benefícios que a sociedade adquire através dos ecossistemas), tais como fertilidade do solo, fornecimento e manutenção da qualidade da água, e conservação da biodiversidade (MEA, 2005).

No Brasil, por exemplo, o crescimento das cidades foi acompanhado por uma visão urbanística higienista-funcionalista, produzindo um sistema legal que visava apenas um modelo de apropriação do solo por meio da propriedade privada (Krebs, 2002). Tal modelo é resultado de um mercado financeiro que objetiva o lucro imediato, procurando expandir os limites da cidade a partir do interesse privado sobre o interesse público, sem considerar os atributos dos meios físico e biótico (Costa et al., 2013). Como consequência, promoveram-se assentamentos populacionais em espaços precários, como em encostas de morros, áreas de alagamento e margens de rios (Rolnik, 2009).

Aliada a este modelo de urbanização, a expansão das fronteiras agrícolas culminou na degradação da vegetação nativa e, conseqüentemente, na redução do fornecimento de água para o abastecimento urbano, agrícola e industrial (Moschini, 2008).

A problemática da água dentro deste modelo urbanístico é ressaltada à medida que os mananciais de água doce estão atingindo seus limites máximos de fornecimento (Barreto, 2015).

Infere-se que, o crescente processo de urbanização e de industrialização, combinado com ao aumento das áreas destinadas ao agronegócio, têm impactado negativamente os sistemas naturais, alterando a estabilidade do meio.

Os conflitos provenientes das interações antrópicas com o meio físico e biótico demandam o desenvolvimento de práticas e metodologias de mensuração e monitoramento de sistemas complexos, de modo a dimensionar as ações humanas e auxiliar no processo de tomada de decisão sob o uso e ocupação da paisagem. É neste contexto, que surgem os indicadores ambientais, cujo objetivo é agregar e simplificar informações

importantes para o entendimento e gestão destes sistemas (Carvalho et al., 2011).

Dentre os indicadores ambientais existentes, destacam-se o Índice de Urbanidade (IB) (O'neil et al., 1998) e o Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos (IQA-Hidro). Segundo Wrbka et al. (2004), o IB representa a proporção entre as áreas com forte interferência antrópica, como as áreas urbanas e agrícolas, e os biótopos naturais, como as áreas alagadas e os fragmentos de vegetação nativa, simulando, dessa forma, a extensão e a intensidade em que as paisagens naturais são dominadas por sistemas alterados. O IQA-Hidro, por sua vez, reflete a suscetibilidade dos recursos hídricos no que se refere à distância de fontes impactantes resultantes das atividades antropogênicas (e.g. áreas agrícolas, áreas urbanas, áreas de mineração), principais responsáveis pelo carreamento de sedimentos e poluentes (Moschini, 2005).

Este trabalho teve por objetivo aplicar o IB e o IQA-Hidro na Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho (BHRM), localizada no município de São Carlos (SP), para verificar o grau de alteração da naturalidade desta bacia em relação à pressão exercida pelas atividades antrópicas, e, dessa forma, contribuir com o processo de tomada de decisão para a gestão e planejamento da paisagem.

Material e métodos

Localização e caracterização ambiental da área de estudo

Grande parte da BHRM está inserida no município de São Carlos, localizado na região central do estado de São Paulo entre as coordenadas geográficas 48°5'27,6"W; 21°35'50,7"S e 47°43'8,4"W; 22°9'39,7"S (Figura 1). O município de São Carlos abrange uma área de 1.140,90km² e possui uma população de 221.950 habitantes (SEADE, 2016).

O sistema de abastecimento público da cidade de São Carlos conta com duas captações de água superficial, a do Ribeirão do Feijão (27% - 246,3 L/s) e a do Rio do Monjolinho (24,8% - 225,9 L/s); os outros 48,2% (439,2 L/s) são retirados de 21 poços profundos no Arenito Botucatu (Costa et al., 2013).

A rede de drenagem da BHRM possui padrão dendrítico (Christofletti, 1974), e cursos d'água de até 5ª ordem, segundo o método de Strahler (1952). Verifica-se ainda a presença de 192 canais totalizando um percurso de aproximadamente 277 km.

As principais formações geológicas presentes na bacia são: Formação Serra Geral, Formação Botucatu, Formação Pirambóia (Grupo

São Bento) e Formação Adamantina (Grupo Bauru) (Zuquete, 1981).

A Formação Serra Geral é caracterizada por rochas eruptivas básicas extrusivas compactas a fraturadas (Basalto) e por presença de diques e sills intercalados localmente por arenitos eólicos. A origem de tal formação está relacionada ao vulcanismo do tipo fissural ocorrido no Jurássico superior.

A Formação Botucatu constitui uma unidade genética de ambiente desértico, constituída por arenitos eólicos de granulação fina a média, grãos arredondados e essencialmente quartzosos em alguns locais silicificados. A Formação Pirambóia tem origem no período Triássico/Jurássico e é caracterizada por arenitos de granulometria que varia de fina a média. Localmente, a Formação Pirambóia e a Formação Botucatu encontram-se recobertas por solos arenosos. A Formação Adamantina, predominante ao longo de toda a porção norte da bacia, é caracterizada por bancos de arenito de granulação fina (Zuquete, 1981).

Os arenitos possuem grande quantidade de poros interconectados que imprimem uma elevada capacidade de armazenar e fornecer água. Além disso, a água das chuvas que infiltra nestas camadas geológicas é posteriormente liberada, alimentando lentamente os rios, assim como acontece nas rochas fraturadas (Iritani e Ezaki, 2012).

Os tipos de solos que ocorrem ao longo da BHRM foram caracterizados e mapeados pelo IAC (1981), sendo que a nomenclatura foi atualizada a partir do Manual Pedológico disponibilizado pelo IBGE (2007): Latossolos Vermelho-Amarelos (Latossolo Vermelho-Amarelo, álico de textura média), Latossolos Vermelhos (Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, Latossolo Roxo de textura argilosa), Neossolos Quartzarênico (Areias Quartzosas Profundas, álicas), Neossolos Litólicos (Solos litólicos eutróficos, de textura argilosa e indiscriminada), Gleissolos Háplicos (Hidromórfico de textura indiscriminada), Argissolos Vermelhos (Terra Roxa Estruturada).

De acordo com IPT (1981), a área de estudo situa-se na Província Cuestas Basálticas nos chamados relevos de degradação, em planaltos dissecados, sendo composta pelas seguintes formas do relevo: Relevo Colinoso (com predomínio de baixas declividades, até 15%, e amplitudes locais inferiores a 100 metros) e Relevo de morros com encostas suavizadas (predominam baixas declividades, até 15%, e amplitudes de 100 a 300 metros).

No Relevo Colinoso se destaca a subclasse Colinas Amplas (predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplanados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos; com baixa densidade de drenagem com padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes). Colinas médias (predominam interflúvios com áreas de 1 a 4km², topos aplanados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes).

Nos relevos de morros com encostas suavizadas destaca os morros amplos (constituem interflúvios arredondados com área superior a 15km², topos arredondados a achatados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão dendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas).

O clima do município de São Carlos é caracterizado por uma estação seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril), sendo classificado como tipo Cwa por Köppen, ou seja, clima tropical de altitude, com um inverno seco e verão chuvoso (CEPAGRI, 2014).

A vegetação na bacia, por sua vez, é caracterizada pela Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Savana Florestada (Cerradão) e Savana Arborizada (Cerrado) (Silva e Falcoski, 2000). Ressalta-se que as formações vegetacionais ao longo da bacia sofreram muito com a pressão antrópica, sendo praticamente erradicadas (Lorandi et al., 2001).

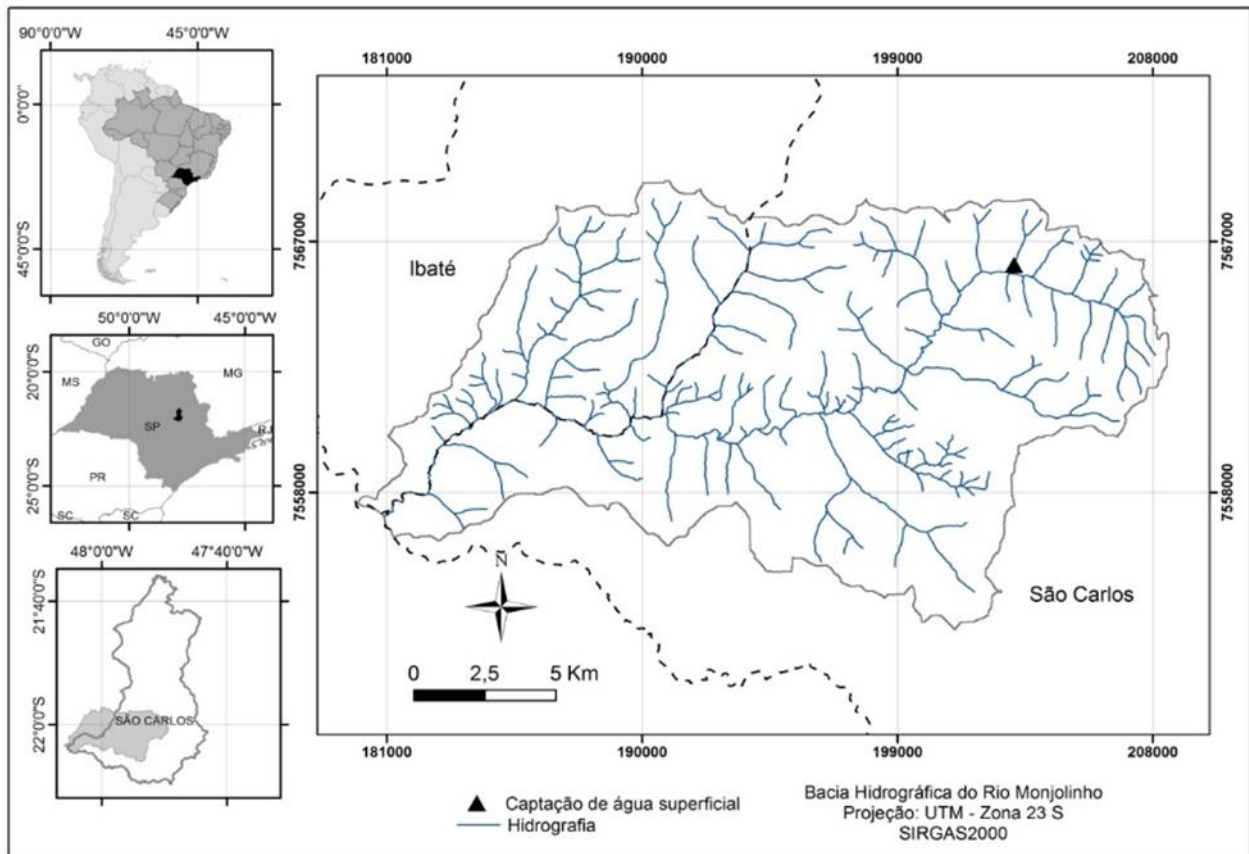


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo e representação da rede hidrográfica da bacia do Monjolinho, São Carlos – SP.

Procedimentos

Os planos de informação utilizados para a execução deste trabalho foram georreferenciados na Zona 23 Sul, adotando-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum SIRGAS2000 (IBGE, 2005).

Foram elaborados os mapas temáticos de uso e cobertura do solo e de redes hidrográficas, necessários à aplicação do IB e do IQA-Hidro, e os mapas temáticos de declividade, classes hipsométricas e densidade demográfica, com a finalidade de integrar as informações geradas e discutir sua influência sob a paisagem.

Para a elaboração dos mapas temáticos de declividade, classes hipsométricas e de redes hidrográficas foram utilizadas as cartas topográficas de Araraquara – SF-22-X-D-VI-4; Ibaté – SF-23-V-C-IV-3; Ribeirão Bonito – SF-22-Z-B-III-2; e São Carlos – SF-23-Y-A-I-1, na escala de 1:50.000 (IBGE, 1971).

Segundo Magalhães Junior (2010), para indicadores relacionados a impactos dos usos do solo nas águas é importante a diferenciação dos tipos de usos do solo. Dessa forma, elaborou-se o

mapa temático de Uso e Cobertura do Solo da bacia, o qual foi obtido a partir da fusão digital das bandas multiespectrais 7, 6 e 4 (resolução espacial de 30 metros) com a banda pancromática 8 (resolução espacial de 15 metros), do sensor multiespectral OLI (*Operational Land Imager*), a bordo do satélite LANDSAT 8, gerando-se uma imagem colorida de 15 metros (i.e. composição RGB nas bandas 7, 6 e 4, respectivamente), a fim de ampliar a capacidade de detecção de alvos. A cena obtida (órbita ponto: 220/75) foi adquirida do Catálogo de Imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), por meio do portal online *Earth Explorer* (earthexplorer.usgs.gov), correspondendo à passagem do satélite no dia 13 de outubro de 2014.

As informações referentes à densidade demográfica, por sua vez, foram obtidas do censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

A Figura 2 mostra os planos de informações que foram gerados por meio do software de geoprocessamento ArcGIS® 10.2 (ESRI, 2013).

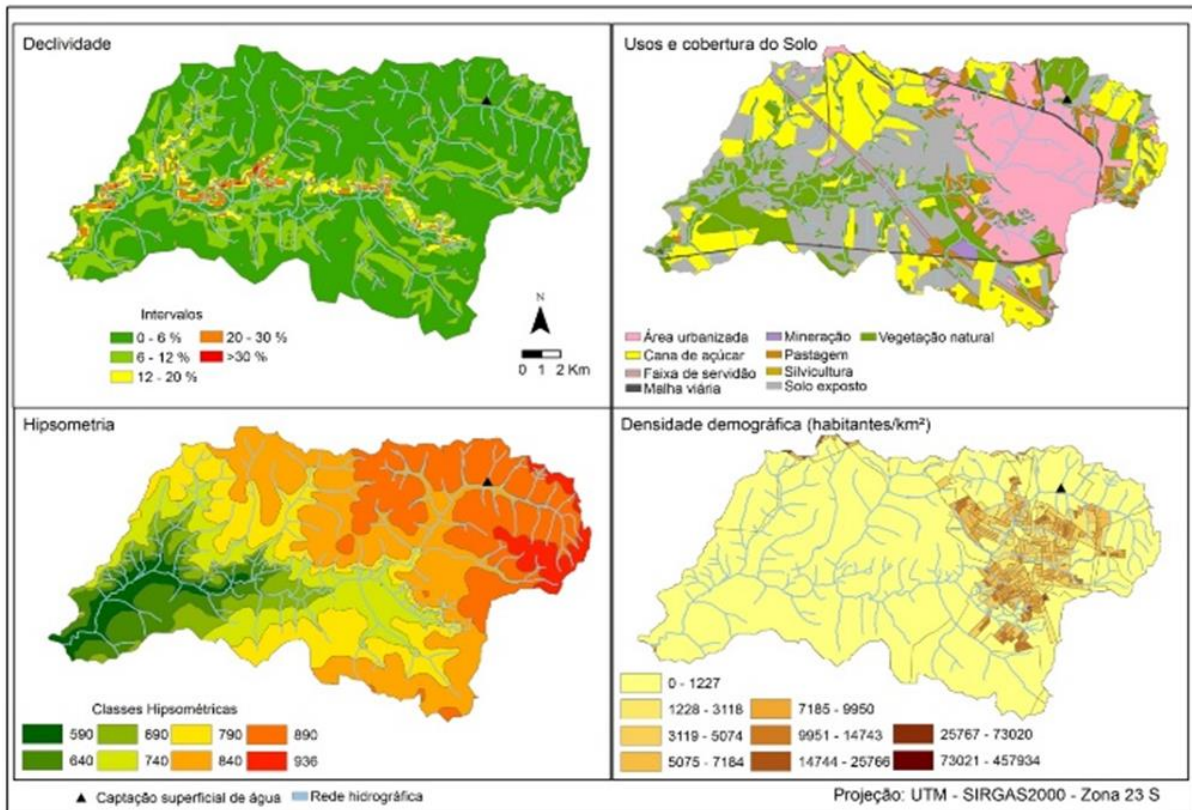


Figura 2. Planos de Informação utilizados.

Adicionalmente, discutiu-se a relação dos tipos pedológicos na bacia com os resultados obtidos pelo IB e pelo IQA-Hidro. A discussão dos tipos pedológicos teve como base o mapeamento realizado pelo IAC (1981).

É importante ressaltar que os ecossistemas naturais não possuem limites estáticos, sendo, assim, é necessária a aplicação de técnicas de padronização dos dados que representem os fenômenos naturais (Costa et al., 2015), e possibilitem a integração e a comparabilidade dos mesmos (Cereda Junior, 2011). Para tanto, foi aplicado o modelo difuso Fuzzy, de tipo linear $[y=f(x)]$, com escala numérica de 0 a 1, aos dados obtidos do IB e do IQA-Hidro. Este modelo é adequado para lidar com conceitos subjetivos, representando a gradual transição entre as ocorrências espaciais por meio de decisões numéricas de superfície (Cereda Junior, 2011).

Como salientado, o IB expressa a alteração da paisagem natural frente às intervenções antrópicas e, desse modo, necessita do mapa temático de uso e cobertura do solo para ser calculado. O IB é definido, portanto, pela seguinte equação (Wrbka et al., 2004):

$$IB = \log_{10} \left[\frac{(A+U)}{F+W} \right] \quad (\text{Equação})$$

Em que:

U: corresponde a extensão da área urbana,

A: corresponde a extensão da área agrícola,

F: corresponde a extensão de área de vegetação natural, e

W: corresponde à extensão dos corpos d'água e áreas alagáveis.

Considerou-se que as áreas com valores próximos a zero ($IB = 0$) correspondem ao maior grau de naturalidade do sistema; enquanto que as áreas com valores próximos a um ($IB = 1$) correspondem ao menor grau de naturalidade do sistema. Estas últimas equivalem à predominância dos sistemas alterados pelo homem.

O IQA-Hidro, por sua vez, reflete a suscetibilidade de um recurso hídrico em relação à distância de fontes de impactos associadas à poluição ou alteração desses ambientes decorrentes da atividade antrópica na paisagem (Moschini, 2008). Para o cálculo deste índice obteve-se a distância euclidiana das fontes impactantes em relação aos recursos hídricos.

As distâncias foram calculadas com uso do operador de distância do SIG a partir da combinação dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo e de rede hidrográfica. Foram consideradas com grau mínimo de qualidade ($IQA-Hidro = 0$) as áreas cuja distância em relação às atividades antrópicas aproximou-se de zero; enquanto que o grau máximo de qualidade ($IQA-$

Hidro = 1) correspondeu aos rios cuja distância em relação às áreas impactadas foi superior a 1.000 metros.

Por fim, os resultados do IB e do IQA-Hidro foram integrados às discussões sobre a declividade, os tipos pedológicos e a densidade da população residente na bacia, de modo a condicionar o planejamento territorial e a preservação hídrica do manancial

Resultados e discussão

Ao todo foram identificados 10 tipos de usos e cobertura do solo para o ano de 2014, os quais foram agrupados em quatro classes distintas: Água, Agricultura, Natural e Urbano (Tabela 1).

Tabela 1. Uso e cobertura do solo para a BHRM.

Classe	Tipo	Área (ha)	Área (%)
Urbano	Área urbanizada	6271,9	22.88
	Faixa de servidão	350,8	1.28
	Malha viária	319,8	1.17
	Mineradora	106,7	0.39
Agricultura	Cana-de-açúcar	6256,6	22.83
	Pastagem	1363,6	4.97
	Solo exposto	6414,2	23.40
	Silvicultura	49,4	0.18
Natural	Vegetação natural	6193,3	22.59
Água	Rede hidrográfica	84,8	0.31
Total		27411,0	100

Verifica-se que as classes Agricultura e Urbano abrangem a maior porção da bacia, correspondendo a 77,1% do território. Deste total, 22,88% é constituído por área urbanizada e 46,23% é destinado ao cultivo da cana-de-açúcar; visto que as áreas de solo exposto foram consideradas como sendo preparadas para tal cultivo.

Com relação às áreas naturais, observa-se que estas correspondem a aproximadamente 22,59% do território, sendo compostas por poucos fragmentos de vegetação remanescente e basicamente pelas Áreas de Preservação Permanente (APPs) presentes no fundo de vale, ao

longo dos cursos d'água do baixo Rio Monjolinho, e em áreas com declividade superior a 20%.

Considerando os processos de ocupação e interferência antrópica no manancial do Monjolinho, realizou-se a análise do IB (Figura 3), a fim de mensurar a perda do grau de naturalidade da paisagem da bacia e, assim, verificar quais processos antrópicos mais alteram suas funções ecológicas, principalmente o fornecimento de água para o abastecimento público da cidade de São Carlos.

De modo geral, verifica-se que a BHRM encontra-se fortemente alterada pelas atividades antrópicas, principalmente pelas atividades relacionadas à urbanização e à agricultura, com destaque para a cana-de-açúcar. Observando-se, pois, as classes do IB entre 0,2 e 1,0, é possível inferir que 91,46% do território da bacia encontram-se em situação de degradação, o que pode contribuir efetivamente com a perda de serviços ecossistêmicos, tais como o fornecimento de água.

Os valores mais altos de naturalidade (IB = 0,0 a 0,2) representam 8,5% do território da bacia em consonância com as áreas de APP's, principalmente na porção centro oeste da bacia. Esta classe corresponde aos fragmentos de vegetação nativa, inclusive os que margeiam os corpos d'água. Os valores do IB entre 0,2 e 0,4 representam 0,04% da bacia.

Grande parte da bacia (58,2%) apresenta médio grau de naturalidade, com valores da ordem de 0,4 e 0,6, indicando influência das atividades agrícolas na paisagem.

Os intervalos de 0,6 a 0,8 representam 8,56% do território da bacia. Os valores mais baixos de naturalidade (IB = 0,8 a 1,0), por sua vez, representam 24,7% do território localizando-se predominantemente no eixo SE/NO da bacia. Estas áreas estão intimamente relacionadas ao uso do solo para fins urbanos da cidade de São Carlos em detrimento das áreas de compostas por vegetação natural.

Verificou-se ainda a ocorrência de concentração demográfica na região que compreende o manancial de captação de água superficial da cidade de São Carlos, apresentando um alto grau de modificação da naturalidade da paisagem. Na área de manancial, o rio Monjolinho recebe grandes contribuições de águas residuárias, incluindo o esgoto da cidade de São Carlos e efluentes industriais como curtumes e tintas; na área agrícola recebe carreamento de fertilizantes e agroquímicos. É importante destacar também que na área urbana o rio encontra-se parcialmente canalizado e há a perda total das áreas de preservação permanente.

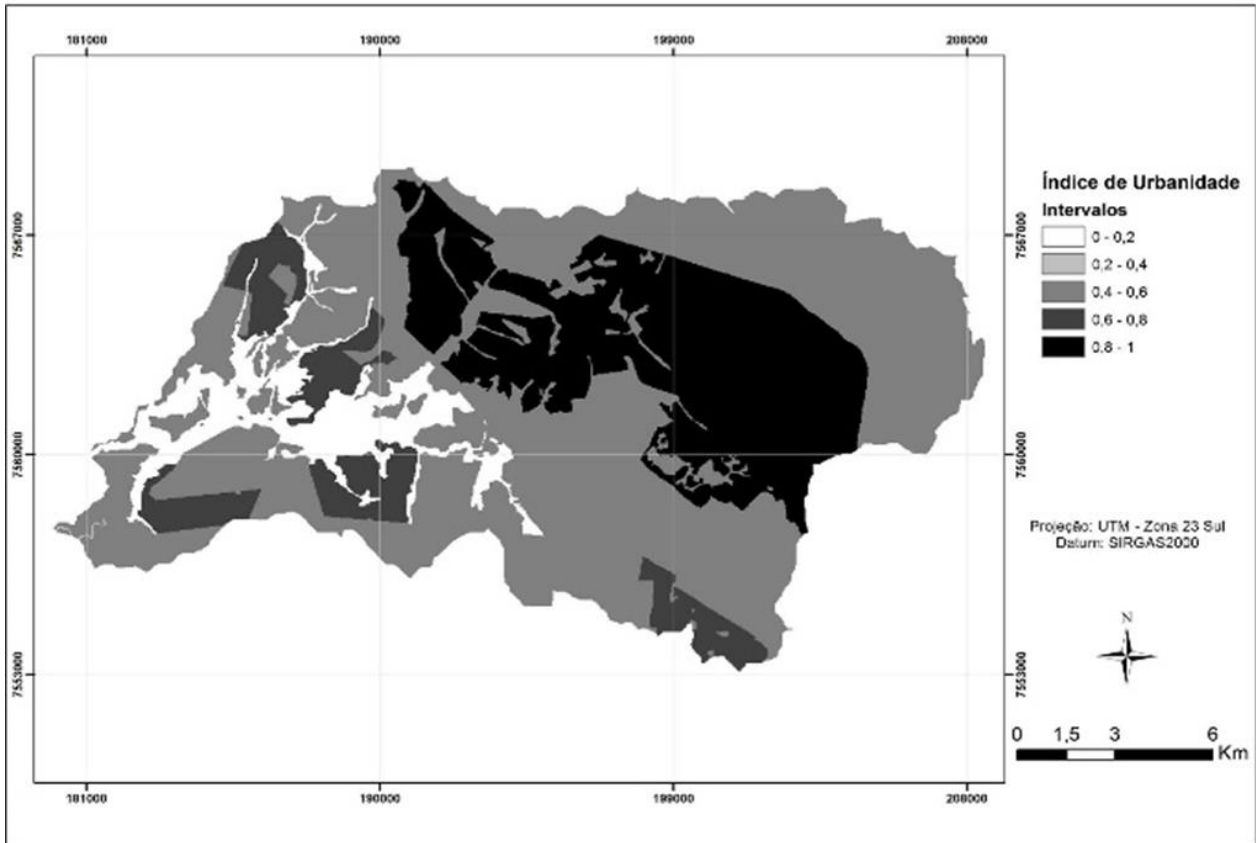


Figura 3. Representação espacial do IB.

O IQA-Hidro expressa o grau de suscetibilidade dos recursos hídricos no que se refere às atividades antrópicas desenvolvidas na bacia (Figura 4). Deste modo, as áreas cuja distância em relação às atividades antrópicas aproximou-se de zero, obtiveram IQA-Hidro = 0; por outro lado, os cursos d'água cujas distâncias em relação às áreas impactadas superiores a 1.000 metros, obtiveram grau máximo de qualidade (IQA-Hidro = 1). Frente aos valores obtidos do IQA-Hidro, observou-se que os recursos hídricos superficiais estão sujeitos aos impactos oriundos das atividades antrópicas em função da

proximidade com as fontes impactantes que abrangem grande parte da bacia, principalmente a área urbana de São Carlos e as áreas de cultivo da cana-de-açúcar. Salienta-se que os usos agrícolas na bacia são considerados como prováveis zonas impactantes, visto que as práticas agrícolas exercidas nessas localidades, bem como o emprego de produtos nas lavouras para otimizar a produção, podem incidir na degradação de ecossistemas se o manejo ocorrer de forma inadequada.

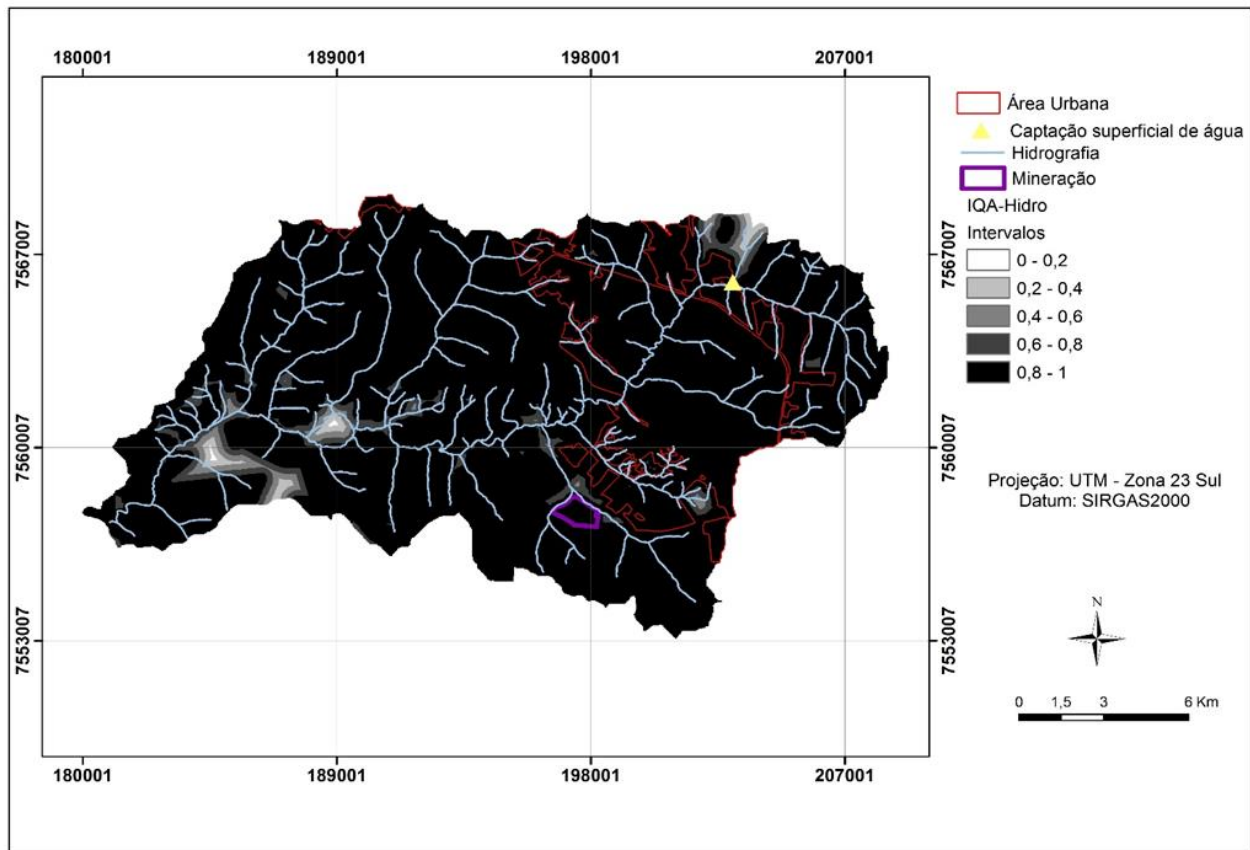


Figura 4. Representação espacial do IQA-Hidro.

As maiores distâncias observadas dos recursos hídricos em relação às atividades antrópicas estão localizadas no flanco NE e no baixo curso do Rio Monjolinho, na porção SO, próximo ao exutório da bacia hidrográfica.

Na região NE, à montante do sistema de captação de água, próximo ao Córrego do Espraiado, que é um dos principais fornecedores de água do manancial, verifica-se a presença de áreas de vegetação natural que contribuiram para o grau máximo de qualidade obtido neste local. Na porção SO, áreas de vegetação natural, incluindo a presença de vegetação ripária, contribuiram para a maior distância observada entre atividades antrópicas e um curso d'água, em aproximadamente 1.018,67 metros.

Na porção sul da área urbana de São Carlos é verificado valores médios do IQA-Hidro, da ordem de 0,4 a 0,6. No entanto, estas áreas sofrem constantes pressões exercidas pelo setor as quais contribuem para a fragmentação da vegetação natural do local, principalmente a atividade minéria (i.e. extração de minerais não metálicos).

Com relação à declividade do terreno, observa-se que a bacia apresenta predominantemente baixas declividades, entre 0 a 12%, englobando ao todo 91% do território (24.735,39 hectares). Essas

áreas são menos suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e deslizamentos de terra, mas possuem alta potencialidade para a ocupação urbana e para a prática de atividades agrícolas, principalmente as que utilizam equipamentos mecanizados.

Verifica-se que a vegetação natural encontra-se fragmentada, concentrando-se nas áreas com declividades acima de 12%, conferindo a maiores índices de IQA-hidro. Apenas 1% do território total da bacia (388,5 hectares) localiza-se sobre áreas com declividades superiores a 30%, justamente nos taludes próximos ao curso principal do rio, onde a vegetação natural é mais densa.

Segundo Murcia (1995), Townsend et al. (2006) e Begon et al. (2007) este cenário dominado por pequenos fragmentos florestais está relacionado com o efeito de borda que é causado por diferentes gradientes de mudanças físicas e bióticas próximas às bordas florestais, interferindo diretamente nas relações ecológicas entre espécies animais e vegetais, podendo levar à perda de biodiversidade. Para Ricklefs (2012), a fragmentação de habitat causa uma redução na riqueza de espécies. No caso em estudo, as espécies que ao longo das bordas dos fragmentos florestais podem ser negativamente afetadas pelas interações

antagonistas com outras espécies que vivem na matriz agropecuária.

Outro impacto negativo da fragmentação florestal é o declínio da recarga das águas subterrâneas que desempenha uma importante função na manutenção das águas superficiais como a de sustentar o nível de base dos rios, as áreas úmidas e nascentes, principalmente em épocas de estiagem (Lerner e Harris, 2009).

Como salientado, os solos predominantes na BHRM correspondem às classes Latossolos Vermelho-Amarelos; Latossolos Vermelhos; Neossolos Litólicos; Gleissolos Háplicos; e Argissolos Vermelhos (IAC, 1981).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos (Latossolo Vermelho-Amarelo, alúvico de textura média) e os Latossolos Vermelhos (Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, Latossolo Roxo de textura argilosa) caracterizam-se por possuírem uma boa drenagem e por serem menos suscetíveis aos processos erosivos. Estes quando associados às baixas declividades do relevo (de 0 a 12%) favorecem a prática de cultivos mecanizados; o que contribui muito com o avanço das plantações de cana-de-açúcar na região. É importante ressaltar ainda que esses tipos de solo possuem acidez elevada e fertilidade química baixa, o que requer um manejo adequado com correção da acidez e adubação fertilizante (EMBRAPA, 2001), intensificando os impactos da agricultura sobre os recursos hídricos por meio de carregamento de poluentes.

Os Neossolos Quartzarênico, por sua vez, caracterizam-se por serem pobres em nutrientes e por possuírem alta erodibilidade e elevada permeabilidade, uma vez que se constituem em aproximadamente 80% de areia e 15% de argila (Souza et al., 2000). Estas características os tornam mais suscetíveis à contaminação dos recursos hídricos, principalmente subterrâneos. Na BHRM, o Neossolo Quartzarênico é originado a partir de sedimentos arenosos, inconsolidados e retrabalhados da Formação Botucatu e contribui para a recarga direta do Sistema Aquífero Guaraní (SAG).

Os Neossolos Litólicos (de textura argilosa e indiscriminada) são mais suscetíveis aos processos erosivos por apresentarem pequena espessura e se localizarem em regiões de relevo mais dissecado ou íngreme (Souza et al., 2000). De acordo com IAC (2016) são solos com sérios impedimentos para a produção agrícola e florestal, com pequena profundidade e pedregosidade que dificultam a penetração e a exploração de água e nutrientes pelas raízes de plantas. O aproveitamento mais adequado destes solos se dá

com manutenção da vegetação nativa e proteção das nascentes nele encontradas.

Localmente, verifica-se que as características deste solo inibem seu uso agrícola, pois o sistema radicular da cana-de-açúcar necessita de maior profundidade para se desenvolver, em função disso, encontra-se nestas áreas a maioria dos fragmentos de vegetação natural.

Os Gleissolos Háplicos (de textura indiscriminada) são ricos em matéria orgânica, caracterizam-se como um ambiente redutor, onde os microrganismos consomem rapidamente o gás oxigênio, geralmente ocorrem em áreas de várzea e possuem coloração escura (Souza et al., 2000). Na área de estudo, este tipo de solo encontra-se parcialmente recoberto por vegetação nativa.

Conclusões

A BHRM encontra-se fortemente alterada pelas atividades antrópicas, principalmente pelas atividades agrícolas. Aproximadamente 91% do território da bacia encontram-se degradados, sendo que os menores graus de naturalidade são decorrentes do uso intensivo do solo destinado à urbanização e às áreas de cana-de-açúcar.

O IQA-Hidro permitiu diagnosticar que as áreas consideradas mais críticas ocorrem próximas às atividades agrícolas e na área urbana. Os maiores valores do índice ocorrem próximos às áreas de APPs e de vegetação nativa preservada, as quais desempenham um papel fundamental com relação aos impactos advindos das atividades antrópicas.

A melhoria da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Monjolinho pode ser favorecida por meio de políticas públicas que priorizem o crescimento urbano planejado fora das áreas utilizadas como manancial de abastecimento urbano.

Em toda bacia é importante que se estabeleça diretrizes para a promoção da conectividade dos fragmentos florestais existentes como forma de restabelecer a naturalidade, mesmo que parcial, da paisagem. Neste caso, a fragmentação da paisagem está relacionada ao avanço das atividades relacionadas ao agronegócio, mais especificamente a cultura da cana-de-açúcar. Tal atividade impacta negativamente os habitats, além dos meios físico e biológico.

Referências

Alfasi, N., Portugali, J., 2004. Planning Just-in-Time versus planning Just-in-Case. Cities [online] 21. Disponível:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2003.10.007>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Barreto, D., 2015. Água de abastecimento urbano: por que economizar? *Revista AEASC* 14, 8-13.
- Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L., 2007. *Ecologia: de indivíduos a ecossistemas*, 4 ed. Artmed, Porto Alegre.
- Belem, A. L. G., Nucci, J. C., 2011. Hemerobia das paisagens: conceito, classificação e aplicação no bairro PICI – Fortaleza/CE. *RA'E GA* 21, 204-233.
- Bertrand, G., 1968. *Paysage et géographie physique globale - Esquisse méthodologique*. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 39, 249-272.
- Carvalho, J. R. M., Curi, W. F., Carvalho, E. K. M. A., Curi, R. C., 2011. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do rio Paraíba, PB. *Revista Sociedade & Natureza* 23, 295-310.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura, 2014. *Clima dos municípios Paulistas: a classificação climática de Köppen para o estado de São Paulo*. Disponível: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso: 24 set. 2014.
- Cereda Junior, A., 2011. *Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério - críticas e proposta metodológica*. Tese (Doutorado). São Carlos, UFSCAR.
- Costa, C. W., Piga, F. G., Moraes, M. C. P., Dorici, M., Sanguineto, E. C., Lollo, J. A., Moschini, L. E., Lorandi, R., Oliveira, L. J., 2015. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras, Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [online] 20. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p946-958>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Costa, C. W., Dupas, F. A., Cespedes, J. G., Silva, L. F., 2013. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos na cidade de São Carlos, SP. *Geociências* 32, 63-80.
- Christofolletti, A., 1974. *Geomorfologia*. Editora da USP, São Paulo.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Agropecuária, 2001. *Cultivo do Arroz de Terras Altas no Estado do Mato Grosso*. Disponível: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/>. Acesso: 16 dez. 2014.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, 2013. *ArcGIS for the desktop* 10.2.
- Hasse, E. J., Lathrop, R. G., 2003. Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography* [online] 23. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2003.08.002>. Acesso: 23 mar. 2017.
- IAC. Instituto Agrônomo de Campinas, 1981. *Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo*. *Quadrícula de Brotas - SF-22-Z-B-II-4, Quadrícula de Descalvado - SF-23-V-C-IV e Quadrícula de São Carlos - SF-23-Y-A-J*. Campinas.
- IAC. Instituto Agrônomo de Campinas, 2016. *Neossolos*. Disponível: <http://www.iac.sp.gov.br/solospdf/Neossolos.pdf>. Acesso: 18 jan. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1971. *Carta do Brasil - escala de 1:50.000*. *Folhas de Araraquara - SF-22-X-D-VI-4, Ibaté - SF-23-V-C-IV-3, Ribeirão Bonito - SF-22-Z-B-III-2, e São Carlos - SF-23-Y-A-I-1*.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. *Censo demográfico de 2010*. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso: 18 jan. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. *Resolução N° 1/2005: Estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS)*. Brasília.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007. *Manual Técnico de Pedologia*, 2 ed. Rio de Janeiro.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo.
- Iritani, M. A., Ezaki, S., 2012. *As águas subterrâneas do Estado de São Paulo*, 3 ed. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo.
- Krebs, A. P., 2002. *Legislação urbana e (des)construção da urbanidade: uma análise observacional dos efeitos das leis municipais na perspectiva de um técnico*. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, UFSC.
- Lee, D., Choe, H., 2011. Estimating the Impacts of Urban Expansion on Landscape Ecology: Forestland Perspective in the Greater Seoul Metropolitan Area. *Journal of Urban Planning and Development* [online] 137. Disponível: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000090](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000090). Acesso: 23 mar. 2017.
- Lerner, D. N., Harris, B., 2009. The relationship between land use and groundwater resources and quality. *Land Use Policy* [online] 26. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.005>. Acesso: 23 mar. 2017.

- Lorandi, R., Takemoto, F., Salvador, N.N.B., Torresan, F. E., 2001. Carta de Potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do Córrego do Monjolinho (São Carlos, SP). *Revista Brasileira de Cartografia* 53, 111-117.
- Magalhães Júnior, A. P., 2010. Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa, 2 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington.
- Moschini, L. E., 2005. Diagnóstico e Riscos Ambientais Relacionados a Fragmentação de Áreas Naturais e Seminaturais da Paisagem. Estudo de Caso: Município de Araraquara-SP. Dissertação (Mestrado). São Carlos, UFSCAR.
- Moschini, L. M., 2008. Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Médio Mogi-Guaçu Superior. Tese (Doutorado). São Carlos, UFSCAR.
- Murcia, C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* [online] 10. Disponível: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6). Acesso: 23 mar. 2017.
- Nelson, A., C., Moore, T., 1996. Assessing growth management policy implementation: Case study of the United States' leading growth management state. *Land Use Policy* [online] 13. Disponível: [https://doi.org/10.1016/0264-8377\(96\)84555-8](https://doi.org/10.1016/0264-8377(96)84555-8). Acesso: 23 mar. 2017.
- O'neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., Deangelis, D. L. MILNE, B. T., TURNER, M. G., ZYGMUNT, B., CHRISTENSEN, S. W., DALE, V. H., GRAHAM, R. L., 1998. Indices of Landscape pattern. *Landscape Ecology* [online] 1. Disponível: <https://doi.org/10.1007/BF00162741>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Palacio, F. H., 2012. Sprawl and fragmentation the case of Medellin region in Colombia. *Journal of Land Use, Mobility and Environment* [online] 5. Disponível: <http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/762>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Ravenga, C., 2005. Developing indicators of ecosystem condition using geographic information systems and remote sensing. *Regional Environmental Change* [online] 5, 205-214. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-004-0085-8>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Rolnik, R., 2009. Democracia no fio da navalha: limites e possibilidades para a implementação de uma agenda de Reforma Urbana no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais* 11, 31 - 50.
- SEADE. Sistema Estadual de Análise de Dados, 2016. *Informações dos Municípios Paulistas*. <http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabela>. Acesso: 14 out. 2016.
- Silva, B. F., Falcowski, L. A. N., 2000. Paradigmas inovadores em planejamento urbano e gestão. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas* [online] 21. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2000v21n4p77>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Souza, P. A. P., Santos, M. B. dos, Palhares, J. C., 2000. Pedologia, in: Espíndola, E. L. G., Silva, J. S. V., Marinelli, C. E., Abdon, M. M. A., *Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho*. Editora RIMA, São Carlos, pp. 45-59.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* [Online] 63. Disponível: http://www.unc.edu/courses/2010spring/geog/591/001/students/nmey13/GEOL483/Lab5/pdfs/Strahler_1952_hypsometry.pdf. Acesso: 20 mar. 2015.
- Tabacow, J. W., Silva, J. X., 2011. Geoprocessamento aplicado à análise da fragmentação da paisagem na ilha de Santa Catarina (SC), in: Silva, J. X., Zaidan, R. T. (Org.), *Geoprocessamento & Meio Ambiente*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 35-68.
- Terzi, F., Bölen, F., 2012. The Potential Effects of Spatial Strategies on Urban Sprawl in Istanbul. *Urban Studies* [online] 49. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1177/0042098011410334>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Townsend, C. R., Begon, M., Harper, J. L. 2006. *Fundamentos em ecologia*, 2 ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tundisi, J. G., 2010. Prefácio, in: Santos, J. E. Moschini, L. E., Zannin, E. M. (Org.), *Faces da Polissemia da Paisagem: Ecologia, planejamento e percepção*. Rima, São Carlos, pp. VII-IX.
- Wr̄bka, T., Erb, K. H., Schulz, N. B., Peterseil, J., Hahn, C., Haberl, H., 2004. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. *Land Use Policy* [online] 21. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.012>. Acesso: 23 mar. 2017.
- Zuquette, L. V., 1981. Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos. Dissertação (Mestrado). São Carlos, USP.