

Geindicadores como instrumento de diagnóstico ambiental em remanescentes florestais nas bacias hidrográficas do município de Campinas/SP

Ge indicators as an environmental diagnostic tool in forest remnants in hydrographic basins in the municipality of Campinas / SP

Geindicadores como herramienta de diagnóstico ambiental en restos forestales en cuencas hidrográficas en el municipio de Campinas / SP

Alessandra Leite da Silva

Doutoranda em Ciências Ambientais, UNESP Sorocaba, Brasil
Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana, PUC-Campinas, Brasil
alessandra.leite@unesp.br

Admilson Írio Ribeiro

Professor Doutor, UNESP Sorocaba, Brasil
admilson.irio@unesp.br

Regina Márcia Longo

Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana e do Programa em Sustentabilidade, PUC-Campinas, Brasil
regina.longo@puc-campinas.edu.br

RESUMO

A infraestrutura verde apresenta um caráter multifuncional que envolve fatores geológicos, hidrológicos, bióticos, sociais, metabólicos e econômicos; por este motivo, quando bem monitorada, ela atua como um instrumento de suporte à resiliência das cidades. Neste contexto, os geoindicadores são bastante úteis, pois permitem a identificação da estrutura e dos processos ambientais que ocorrem na superfície terrestre. Diante disso o presente estudo buscou verificar a aplicação de geoindicadores para diagnóstico ambiental de remanescentes florestais nas bacias hidrográficas no município de Campinas/SP, a fim de subsidiar a gestão ambiental destas áreas, bem como futuros projetos de recuperação. Nos 2.319 remanescentes florestais distribuídos nas seis bacias hidrográficas de Campinas foram analisados os geoindicadores: bioma, geomorfologia, erodibilidade do solo conforme a pedologia e declividade; a partir de imagens de satélites e mapeamentos dos órgãos ambientais. Verificou-se que o município está em uma região de transição, onde a maioria dos remanescentes estão em área de Mata Atlântica e apenas um pequeno percentual em área de Cerrado. É também uma região de transição geomorfológica entre a Depressão Periférica e o Cinturão Orogênico do Atlântico, predominante apenas nos remanescentes das bacias do Atibaia e Jaguari. Nestas, os remanescentes estão associados ao maior grau de erodibilidade do solo e índice de declividade, o que aumenta a vulnerabilidade da área; uma área com grande potencial hídrico e responsável por 93,5% da demanda de água municipal. Desta forma, verificou-se através dos geoindicadores que estas duas bacias são altamente susceptíveis à erosão e demandam atenção no processo de manejo e gestão.

PALAVRAS-CHAVE: Geoindicadores. Remanescentes florestais. Gestão ambiental.

RESUME

The green infrastructure has a multifunctional character that involves geological, hydrological, biotic, social, metabolic and economic factors; for this reason, when well monitored it acts as an instrument to support the city resilience. In this context, geoindicators are very useful to the identification of structure and environmental processes that occur on the Earth's surface. Therefore, the present study sought to verify the application of geoindicators for environmental diagnosis of forest remnants in river basins in Campinas/SP, in order to subsidize the environmental management of these areas, as well as future recovery projects. In the 2,319 forest remnants distributed in the six hydrographic basins of Campinas, geoindicators were analyzed: biome, geomorphology, soil erodibility according to the pedology and slope; based on satellite images and mappings from environmental agencies. It was found that the municipality is in a transition region, where most of the remnants are in Atlantic Forest area and only a small percentage are in Cerrado area. It is also a geomorphological transition region between the Peripheral Depression and the Atlantic Orogenic Belt, predominant only in the remnants of the Atibaia and Jaguari basins. In these basins, the remnants are associated with a higher degree of soil erodibility and slope index, which increases the vulnerability of the area; an area with great water potential and responsible for 93.5% of the municipal water demand. In this way, it was verified through geoindicators that these two basins are highly susceptible to erosion and demand attention in the management and management process.

KEYWORDS: Geoindicators. Forest remnants. Environmental management.

RESUMEN

La infraestructura verde tiene carácter multifuncional que involucra factores geológicos, hidrológicos, bióticos, sociales, metabólicos y económicos; Por esta razón, cuando bien monitoreada actúan como instrumento para apoyar la resiliencia de las ciudades. En este contexto, los geoindicadores se presentan como muy útiles para identificación de estructura y procesos ambientales que ocurren en la superficie de la Tierra. Así, el presente estudio buscó verificar la aplicación de geoindicadores para diagnóstico ambiental de remanentes forestales en cuencas hidrográficas en Campinas/SP, para subsidiar la gestión ambiental y futuros proyectos de recuperación. En los 2,319 remanentes forestales distribuidos en seis cuencas hidrográficas de Campinas se analizaron los geoindicadores: bioma, geomorfología, erosibilidad del suelo según pedología y declividad; basado en imágenes satelitales y mapeos de agencias ambientales. El municipio se encuentra en región de transición, donde la mayoría de los restos se encuentran en el área del Bosque Atlántico y solo un pequeño porcentaje se encuentra en el área del Cerrado. También es una región de transición geomorfológica entre Depresión Periférica y el Cinturón Orogénico Atlántico, predominante solo en los restos de las cuencas Atibaia y Jaguari. En estas, los remanentes están asociados con mayor grado de erosión del suelo y un índice de pendiente, aumentando la vulnerabilidad del área; Un área con gran potencial hídrico y responsable del 93,5% de demanda municipal de agua. De esta manera, se verificó a través de geoindicadores que estas dos cuencas son altamente susceptibles a la erosión y requieren atención en el proceso de gestión y gestión.

PALABRAS CLAVE: Geoindicadores. Restos forestales. Gestión ambiental.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir de 1980, quando a variável ambiental passou a ser incluída mais fortemente nas políticas públicas, novos recortes de planejamento regional começaram a se desenvolver, como exemplo, a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e de gerenciamento. O recorte regional por bacias hidrográficas surge então como um modelo de governança que pode democratizar a papel do Estado, tornando o planejamento mais inclusivo ao garantir a participação de outros atores que também produzem e incidem no espaço. Além disso, o planejamento regional por bacias hidrográficas apresenta um grande diferencial, pois possibilita a integração entre sistemas antrópicos e naturais, aproximando-se, desta forma, de uma condição mais próxima à sustentabilidade (PERES; CHIQUITO, 2012).

De forma geral, o planejamento estratégico desenvolvido na escala urbana se configura como documentos, tanto escritos quanto cartográficos, norteadores de um desenvolvimento regional, que devem incluir a previsão do crescimento econômico e habitacional e a classificação para as áreas potenciais para desenvolvimento urbano, bem como a delimitação de áreas que devam ser protegidas a fim de garantir a sustentabilidade dos recursos naturais e culturais (HERSPERGER et al., 2018). Neste contexto de planejamento sustentável, um princípio que se destaca é a infraestrutura urbana, definida como

(...) uma rede interconectada de cursos d'água, áreas úmidas, florestas, habitats de vida selvagem e outras áreas naturais; corredores verdes, parques e outras áreas de conservação; fazendas, ranchos e florestas; áreas selvagens e outros espaços abertos que mantêm processos ecológicos naturais, sustentem os recursos hídricos e atmosféricos e contribuem para a saúde e a qualidade de vida das comunidades (...) BENEDICT e McMAHON (2006).

Quando bem planejada, implementada e monitorada, a infraestrutura verde atua especialmente como um importante instrumento de suporte à resiliência das cidades, ou seja, contribui para aumentar sua capacidade de superar situações adversas e garantir sua capacidade de resposta e recuperação, além de promover um ambiente urbano mais sustentável e melhor qualidade de vida nas cidades (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017; HERZOG; ROSA, 2010).

Dado seu caráter multifuncional que envolve fatores geológicos, hidrológicos, bióticos, sociais, metabólicos e até mesmo econômicos, a infraestrutura verde é de essencial importância para os ambientes urbanos, pois contribui para a resiliência das cidades à medida em que atua reduzindo os impactos das mudanças climáticas, aumentando a biodiversidade, protegendo os processos da paisagem e promovendo impactos socioeconômicos positivos, inclusive a melhora na saúde da população. Além disso, devido a estes benefícios, a infraestrutura verde contribui para a diminuição da pegada urbana global e, por fornecer localmente os serviços ecossistêmicos necessários às suas populações, reduz a dependência dos serviços produzidos externamente. (HERZOG, 2016; HERZOG; ROSA, 2010; CALDERÓN-CONTRERAS; QUIROZ-ROSAS, 2017).

Neste contexto, as florestas urbanas consistem em uma das tipologias de infraestrutura verde provedoras do maior índice de serviços ecossistêmicos. Junto aos grandes parques, as florestas urbanas concentram a melhor qualidade da infraestrutura verde justamente devido seu

tamanho e complexa dinâmica que envolve características topográficas, ecológicas e socioeconômicas (CALDERÓN-CONTREAS; QUIROZ-ROSAS, 2017). Sendo assim, mesmo sob a forma de remanescentes, estas áreas são fundamentais para mitigar a fragmentação da paisagem no ambiente urbano e podem ser utilizadas para diversos fins, dependendo da sua forma de planejamento, de seus objetivos, gestão, manejo, suas características ambientais e necessidades comunitárias (PIPPI; TRINDADA, 2013).

Tanto a caracterização da fragmentação de paisagens naturais quanto a avaliação dos efeitos que este fenômeno exerce são pontos essenciais e preliminares para um planejamento adequado para a restauração de áreas fragmentadas (JESUS et al., 2015). Como demonstram os estudos de Choudhary, Boori e Kupriyanov (2018), Liao, Li e Hou (2013) e Macedo et al. (2018), a avaliação da vulnerabilidade ambiental de determinada paisagem está diretamente associada a seus fatores físicos e geomorfológicos. Neste contexto, os geoindicadores se apresentam como uma ferramenta bastante útil.

Os geoindicadores são instrumentos de pesquisa que auxiliam na identificação da estrutura, dos sistemas e dos processos ambientais que ocorrem na superfície terrestre. São úteis, portanto, para avaliar as variações nos processos ambientais e sistemas interligados. Podem ser classificados em geoindicadores geológicos, geomorfológicos, geotécnicos e hidrogeológicos. Os geoindicadores podem ser características gerais como a elevação e o tipo de vegetação, e também características mais específicas como geomorfologia, tipo e estabilidade de solo, configuração de linha de costa em ambientes costeiros, dentre outros; além de poderem avaliar a influência dos processos geológicos sobre o homem e vice-versa. (COSTA; SILVA JR.; SANTOS, 2007; GUIMARÃES, 2004; MARTINS et al., 2016).

OBJETIVOS

Diante disso o presente estudo buscou verificar a aplicação de geoindicadores para diagnóstico ambiental de remanescentes florestais preliminarmente mapeados nas bacias hidrográficas no município de Campinas, a fim de subsidiar a gestão ambiental destas áreas, bem como futuros projetos de recuperação.

METODOLOGIA

Foram considerados neste estudo os 2.319 remanescentes florestais levantados por Silva (2020) das tipologias: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta mista, Floresta Paludosa e Floresta Estacional Semidecidual com traços de Cerrado. Estes remanescentes estão distribuídos nas seis bacias hidrográficas de Campinas. sendo: Anhumas (176), Atibaia (1368), Capivari (323), Capivari-Mirim (75), Jaguari (324) e Quilombo (53). Nestes remanescentes, foram analisados os Geoindicadores: (1) Bioma; (2) Geomorfologia; (3) Erodibilidade do solo segundo pedologia; e (4) Declividade. De acordo com o observado em Silva et al. (2019).

O bioma no qual está localizado cada remanescente florestal foi analisado a partir do mapeamento dos biomas brasileiros, produzido em escala 1:5.000.000 e disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2018). Destaca-se que o município de Campinas se encontra em uma região transicional entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado e, portanto, este é um geoindicador útil.

Já a geomorfologia foi analisada a partir do mapeamento das Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo, que refletem elementos do substrato geológico-geomorfológico-pedológico da paisagem (SÃO PAULO, 2015). A delimitação das UBC foi realizada pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CPLA/SMA) em parceria com o Instituto Geológico (IG), em escala de 1: 50.000, tendo como referências os mapas geomorfológico de Ross e Moroz (1997 e geológico do Estado de São Paulo, produzido por Perrota et al. (2005) (SÃO PAULO, 2015).

Para a determinação do grau de erodibilidade do solo foi necessário analisar a pedologia nas bacias hidrográficas de Campinas, procedimento realizado a partir do Mapa Pedológico Semidetalhado do Município de Campinas, produzido pela Embrapa e publicado em 2008, à escala de 1: 50.000, e disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Campinas, por meio da Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CAMPINAS, 2018).

A partir do diagnóstico e análise da tipologia de solos nas bacias hidrográficas verificou-se a tipologia de solo predominante em cada remanescente florestal e o grau de erodibilidade associado ao mesmo, utilizando-se a ferramenta “intersect (3d) the source layer feature” do ArcGIS. O grau de erodibilidade dos solos foi considerado a partir de classificação de Salomão (1999) e Ross (2005), pela qual os solos presentes no município de Campinas puderam ser classificados quanto ao grau de erodibilidade em: muito fraco, fraco, médio, forte e/ou muito forte, conforme apresentado na **Tabela 1**

Tabela 1. Grau de erodibilidade do solo de acordo com pedologia

Grau de erodibilidade	Tipologia
Muito fraco	Gleissolos Háplicos (GX)
Fraco/ Muito fraco	Latossolos Vermelhos (LV)
	Latossolos Vermelhos-Amarelos (LVA)
Fraco	Latossolos Amarelos (LA)
Médio	Nitossolos Vermelhos (NV)*
	Nitossolos Háplicos (NX)*
	Organossolos Háplicos (OX)*
	Luvissolos Crômicos (TC)*
Forte	-
Forte/ Muito forte	Cambissolos Háplicos (CX)
	Argissolos Vermelhos (PV)
Muito forte	Argissolos Vermelhos-Amarelos (PVA)
	Argissolos Amarelos (PA)
	Neossolos Quartzarênicos (RQ)

* Não foram identificadas referências para as classes NV, NX, OX e TC. Estas são as classes menos significativas no município de Campinas (0,77%) e, portanto, quando ocorrência predominante de uma delas em um remanescente florestal considerou-se um grau médio de erodibilidade.

Já a análise da declividade foi realizada a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtidos a partir da plataforma EarthExplorer, desenvolvida e mantida pelo United States Geological Survey (USGS, 2019). Os modelos utilizados foram “SRTM 1 Arc-Second Global”, ID SRTM1S23W048V3 e ID SRTM1S23W047V3. Utilizando a ferramenta “Slope” do ArcGIS foi possível avaliar a declividade Campinas e classificar o relevo do município de Campinas em: plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso ou escarpado, segundo classificação da EMPRAPA (1979). A partir disto, verificou-se o grau de declividade mais alto presente em cada remanescente floresta.

RESULTADOS

O município de Campinas se localiza em uma região transicional entre os biomas Mata Atlântica e Cerrado. Entretanto, a representação do bioma Cerrado no município de Campinas é bem reduzida, sendo identificado apenas no extremo noroeste das bacias hidrográficas do Anhumas e do Atibaia. Nestas bacias, respectivamente, 13,6% e 2,5% dos remanescentes estão em região de Cerrado (**Figura 1 e 2**). A Mata Atlântica, por sua vez, predominante em todas as bacias hidrográficas do município de Campinas consiste em um bioma caracterizado por um conjunto de formações florestais, além de campos naturais, restingas, manguezais e outros tipos de vegetação, que contribuem para a formação de paisagens diversas e ricas em biodiversidade (BRASIL, 2010).

Figura 1. Bioma nos remanescentes florestais das bacias hidrográficas de Campinas/SP

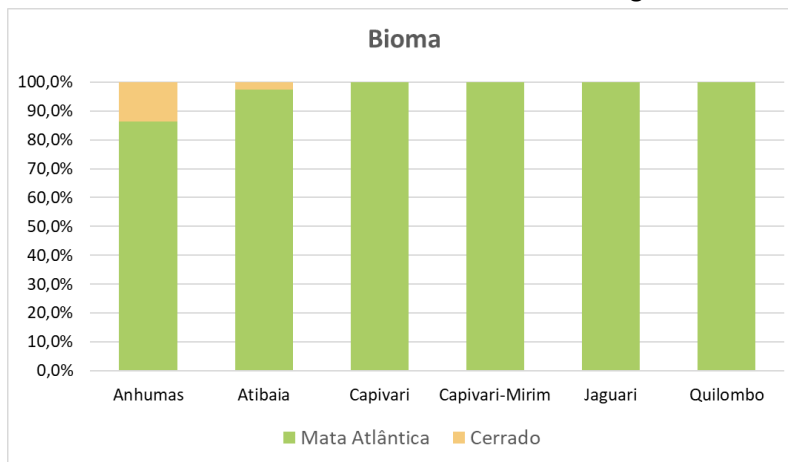
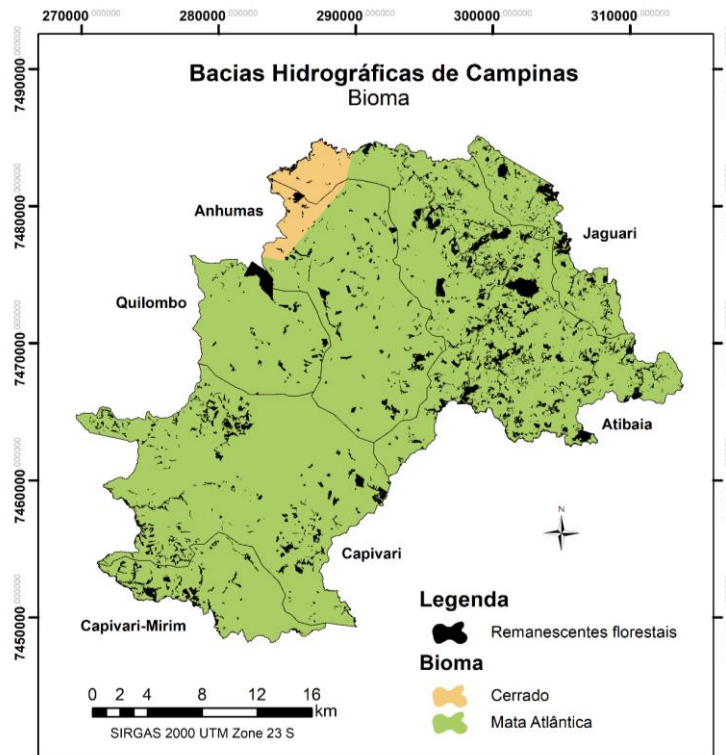


Figura 2. Distribuição geográfica dos remanescentes florestais segundo bioma

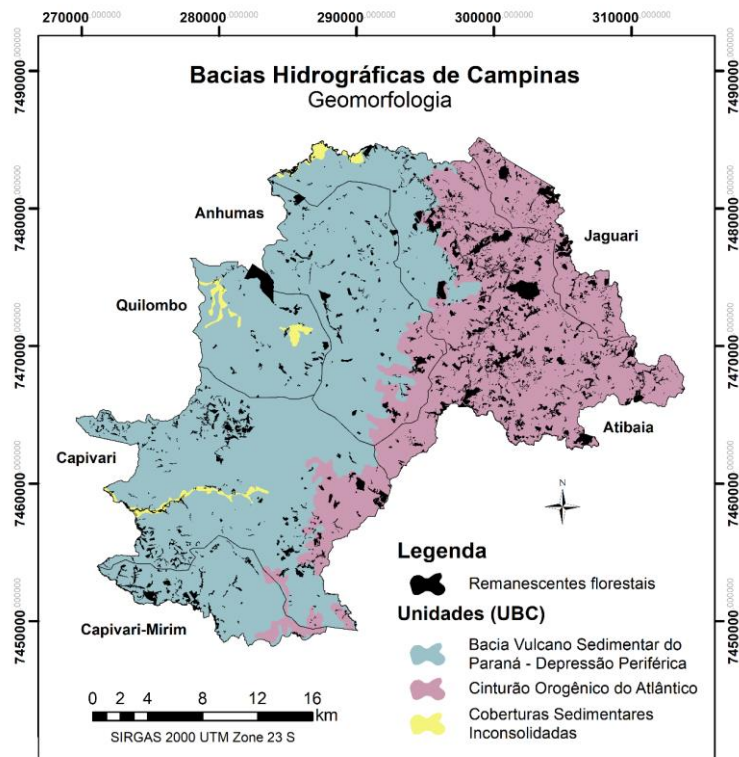


Diante destas condições, são recomendações que se aplicam às seis bacias hidrográficas do município de Campinas que se localizam sob domínio da Mata Atlântica: (1) Reconhecimento das áreas críticas para conservação; (2) Proteção dos habitats naturais, tanto a partir de Unidades de Conservação quanto de remanescentes florestais, a fim de garantir a sobrevivência das espécies; (3) Realizar estudos ecológicos e identificar os centros de diversidade, monitorando as espécies ameaçadas e promovendo estratégias de conservação (COSTA; SANTOS, 2009).

Quanto à geomorfologia, identificou-se que o município de Campinas está predominantemente localizado em uma região transicional, no qual foi possível identificar três Unidades Básicas de

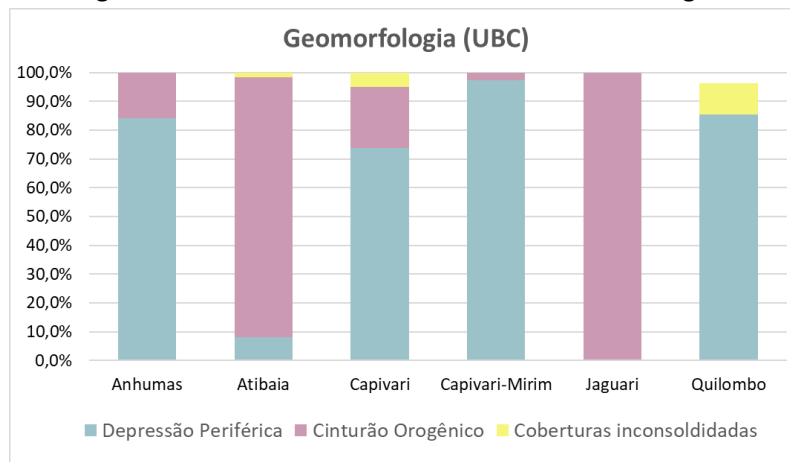
Compartimentação do Meio Físico (UBC): (1) Bacia Vulcano Sedimentar do Paraná – Depressão Periférica; (2) Cinturão Orogênico do Atlântico; e (3) Coberturas Sedimentares Inconsolidadas (**Figura 3**). Estas três UBC são denominadas unidades morfoestruturais, que correspondes às grandes macroestruturas como escudos antigos, desdobramentos modernos e/ou áreas de sedimentação, que se diferenciam umas das outras por suas características estruturais, litológicas e geotectônicas associadas as suas gêneses (SÃO PAULO, 2015).

Figura 3. Distribuição geográfica dos remanescentes florestais segundo geomorfologia



A Bacia Vulcano Sedimentar do Paraná – Depressão Periférica, é predominante nos remanescentes florestais de quase todas as bacias, com exceção do Atibaia e Jaguari. Nas bacias do Anhumas, Capivari, Capivari-Mirim e Quilombo, a Depressão Periférica está associada a, respectivamente 84,1%, 73,7%, 97,3% e 85,5% dos remanescentes (**Figura 4**). Esta formação consiste em uma fossa tectônica elipsoidal, com uma extensão de aproximadamente 1.600.000 km², que se encontra encravada na Plataforma Sul-Americana e, além do estado de São Paulo, estende-se por Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e até mesmo Uruguai, Paraguai e Argentina (ROSS; MOROZ, 1997; SANTOS et al., 2006).

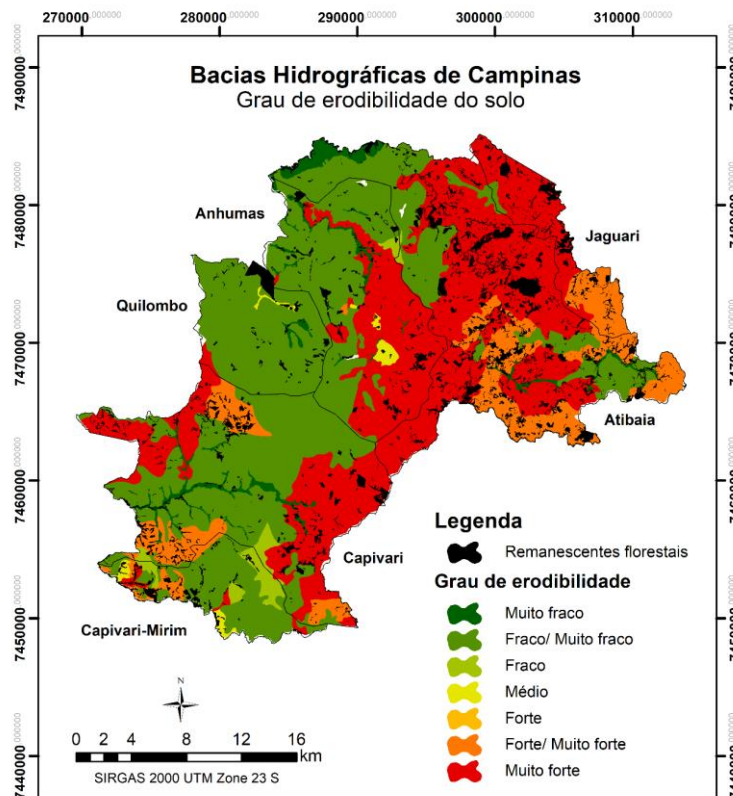
Figura 4. Geomorfologia nos remanescentes florestais das bacias hidrográficas de Campinas/SP



Por sua vez, 90,1% e 100% dos remanescentes estão associados ao Cinturão Orogênico do Atlântico; uma formação cuja gênese está associada à ciclos geotectônicos acompanhados de sedimentação, metamorfismo regional, falhamentos, dobramentos e intrusões (SANTOS et al., 2006). Destaca-se ainda que na região de Planalto Atlântico, há o predomínio de clima úmidos com temperaturas mais amenas enquanto a Depressão Periférica é caracterizada principalmente pelo clima quente de inverno (DAEE, 2005). Já as Coberturas Sedimentares Inconsolidadas, por sua vez, aparecem associada a poucos remanescentes florestais apenas em alguns trechos à oeste das bacias do Atibaia, Quilombo e Capivari. Estas podem ser planícies fluviais, que consistem em depósitos aluvionares formados devido à drenagem atual e é, portanto, um tipo de formação que se distribui ao longo de todo o Estado, em áreas específicas (SÃO PAULO, 2015).

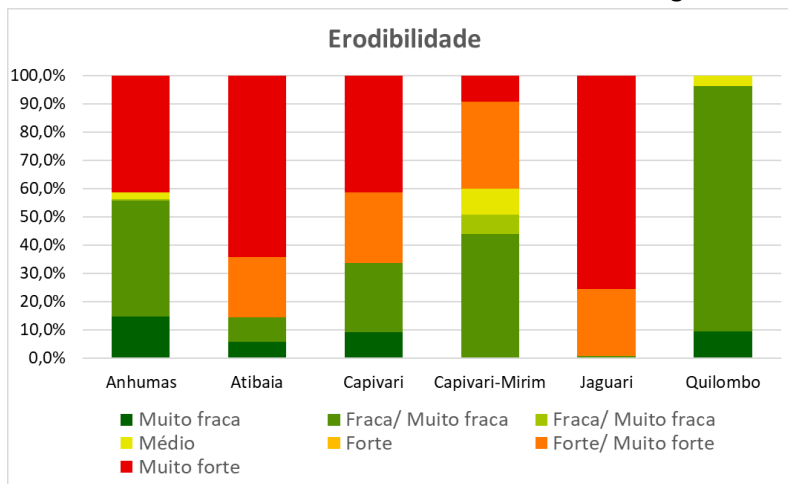
A análise da pedologia apontou treze (13) diferentes tipologias de solo distribuídas entre as seis bacias hidrográficas de Campinas. Entretanto, há predominância das classes Argissolos Vermelhos-Amarelos (29,41%), Latossolos Vermelhos-Amarelos (23,31%), Latossolos Vermelhos (19,71%), Cambissolos Háplicos (11,76%) e, por fim, Argissolos Vermelhos (8,74%). De acordo com essas informações e segundo metodologia apresentada preliminarmente, o solo pôde então ser reclassificado conforme o grau de erodibilidade (**Figura 5**).

Figura 5. Distribuição geográfica dos remanescentes florestais segundo grau de erodibilidade do solo



Segundo essa classificação identificou-se que o maior percentual de remanescentes florestais predominantemente em solo com grau de erodibilidade de forte a muito forte está nas bacias do Jaguari (99,4%), Atibaia (85,5%), Capivari (66,3%) e Anhumas (41,5%) (Figura 6). É importante citar ainda que as bacias do Jaguari e Atibaia são também aquelas com maior percentual de remanescentes florestais e cuja característica predominante é o alto potencial hídrico, onde o rio Atibaia é o principal manancial de abastecimento do município de Campinas, sendo responsável por atender 93,5% da demanda (CAMPINAS, 2013). Isto corrobora para que os remanescentes destas bacias apresentem as maiores condições de vulnerabilidade ambiental. A susceptibilidade de um solo à erosão está ainda associada a outros fatores como condições climáticas, características do relevo, práticas históricas de diferentes agentes sociais alterando as paisagens, e capacidade protetora da vegetação (COSTA; RODRIGUES, 2015; FUSHIMI; NUNES, 2018). Considerando este último aspecto destaca-se ainda mais a relevância ambiental dos remanescentes florestais para a conservação do solo, especialmente nas áreas onde o grau de erodibilidade é muito forte, como nas bacias do Jaguari, Atibaia, Anhumas e parcela da bacia do Capivari.

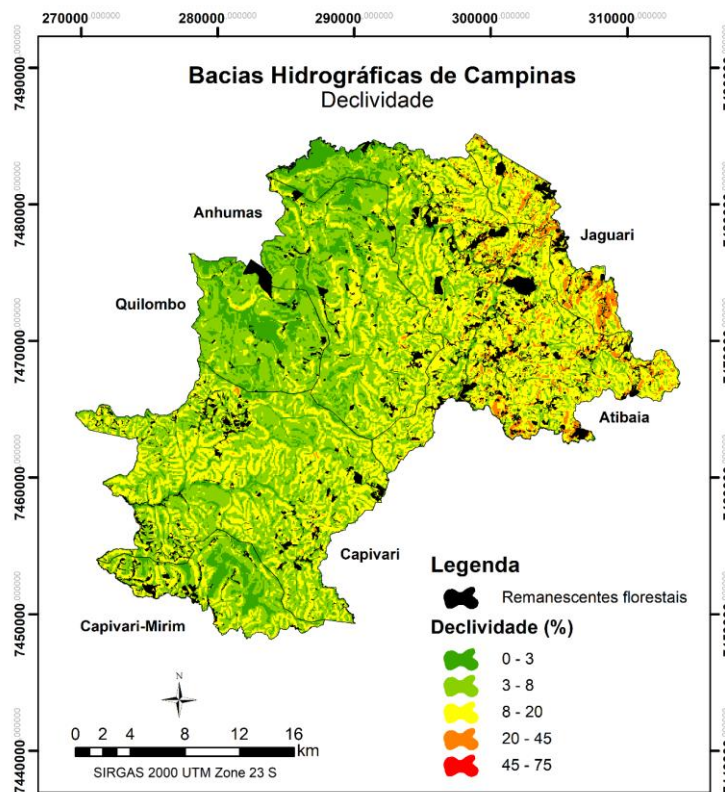
Figura 6. Erodibilidade nos remanescentes florestais das bacias hidrográficas de Campinas/SP



O relevo do município de Campinas pode ser classificado majoritariamente como suave ondulado (44,18%), cuja declividade está entre 3 e 8%, e ondulado (39,68%), com declividade entre 8 e 20%. Esta condição se reflete especialmente nas bacias do Anhumas, Quilombo, Capivari e Capivari-Mirim. Nas bacias do rio Atibaia e Jaguari o relevo se apresenta um pouco mais acidentado, com declividade entre 45% e 75% em pelo menos um remanescente em cada uma delas.

Fica evidente que a susceptibilidade à erosão avaliada por meio do tipo de solo está também associada à declividade do terreno. Desta forma, em bacias como a do Capivari-Mirim e Quilombo, onde os remanescentes florestais se encontram predominantemente em solo classificado com grau de erodibilidade “Fraco/ Muito fraco” verificou-se também o predomina de remanescentes em terreno ondulado, ou seja, com declividade entre 8 e 20% (Figura 7).

Figura 7. Distribuição geográfica dos remanescentes florestais segundo declividade (%)

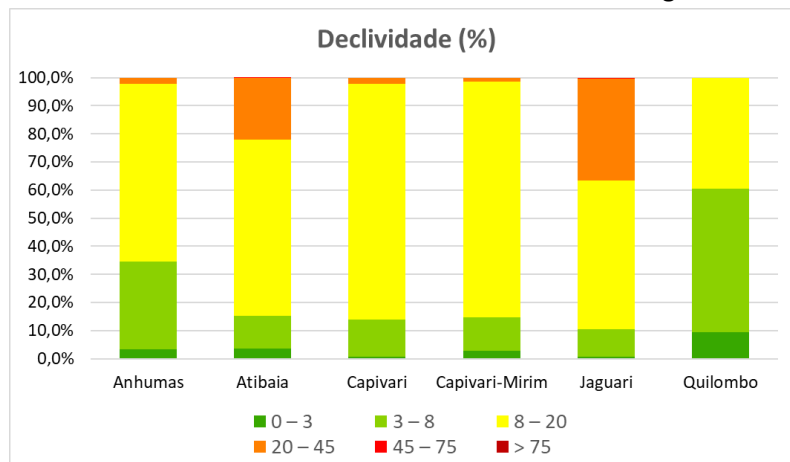


Por outro lado, os remanescentes florestais em relevos mais acidentados, com declividade superior a 20% apresentam representação significativa apenas nas bacias do Atibaia (22,1%) e Jaguari (36,4%), aquelas com maior grau de erodibilidade. Já nas bacias do Anhumas e Capivari, a maior parte dos remanescentes estão em terrenos ondulados, com até 20% de declividade, contudo, quanto ao tipo de solo e grau de erodibilidade apresentam representação significativa tanto de remanescentes em solos com grau “Fraco/ Muito fraco” quanto “Forte/ Muito forte” (Figura 8).

Como definem Liao, Li e Hou (2013), a vulnerabilidade ambiental consiste na instabilidade da estrutura inerente do ecossistema, de forma que uma alta vulnerabilidade indica que tal ecossistema apresenta baixa resistência e habilidades reduzidas de recuperação e regeneração após determinada interferência, resultando em mudanças irreversíveis no ecossistema. Portanto, sendo assim, estas duas bacias demandam políticas específicas de manejo e conservação dos recursos naturais.

Considerando esta premissa e diante dos resultados apontados pelos geoindicadores fica evidente que, por apresentarem características físicas diferentes, os remanescentes florestais das diferentes bacias hidrográficas de Campinas/SP apresentam fragilidades distintas e, portanto, demandam alternativas de gestão e manejo distintos e mais adequados em cada caso.

Figura 8. Declividade nos remanescentes florestais das bacias hidrográficas de Campinas/SP



CONCLUSÃO

A aplicação de geoindicadores pode ser útil para o diagnóstico preliminar de remanescentes florestais. No presente estudo foi possível observar a diversidade de características geomorfológicas, pedológicas e de relevo da região. Consequentemente, estas geoindicadores trazem também informações importantes acerca das fragilidades dos remanescentes florestais. No município de Campinas pôde-se observar que devido ser uma área de transição geomorfológica e de bioma, os remanescentes podem apresentar características completamente distintas em termos estruturais e de diversidade biológica. Além disso, o predomínio de remanescentes em bacias como Atibaia e Jaguari, altamente susceptíveis à erosão devido a tipologia do solo e declividade, são mais frágeis e demandam atenção especial no processo de manejo e gestão.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela Bolsa de Mestrado concedida à primeira autora (Processo n.º 2019/02698-1) e à Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEDICT, M. A; McMAHON, E. T. **Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century**. Washington, DC: Sprawl Watch Clearinghouse Monograph, 2006. 36 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS. **Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental**. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/adequao_ambiental_publicao_web_202.pdf>. Acesso em 17 fev. 2019.

CALDERÓN-CONTRERAS, R.; QUIROZ-ROSAS, L. E. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. **Ecosystem Services**, v. 23, p. 127–137, fev. 2017.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Campinas: (SVDS) Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2013.

CHOUDHARY, K.; BOORI, M. S.; KUPRIYANOV, A. Spatial modelling for natural and environmental vulnerability through remote sensing and GIS in Astrakhan, Russia. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 21, p. 139-147, 2018.

COSTA, D. P.; SANTOS, N. D. Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 23, n. 4, dez. 2009.

COSTA, R. A.; SILVA JÚNIOR, C. C.; SANTOS, F. O. O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da cidade de Caldas Novas (GO). In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA - EREGEO, 10., 2007, Catalão. **Anais...** Catalão: UFG, 2007. p 1 - 12.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. **Rev. Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015.

DAEE. DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 2005. Escala 1: 1.000.000. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/acervoepesquisa/mapasub/MAPA_AS.pdf>. Acesso em 17 fev. 2019.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares das paisagens de parte dos municípios de Marabá Paulista (SP) e Presidente Epitácio (SP), Brasil. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 14, n. 23, p. 5-27, jan./abr. 2018.

GUIMARÃES, R. M. **Seleção de geoindicadores para determinação de áreas de fragilidade face às pressões antrópicas: contribuição da análise geossistêmica e da ecologia da paisagem no espinhaço meridional**. 2004. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2004.

HERSPERGER, A. M. et al. Urban land-use change: The role of strategic spatial planning. **Global Environmental Change**, v. 51, p. 32-42, 2018.

HERZOG, C. P. A multifunctional green infrastructure design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro. **Landscape Ecology Engineering Journal**, Tempe, n. 12, p. 141-150, 2016.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 1, p. 92-115, set. 2010.

JESUS, E. N. et al. Estrutura dos fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015.

LIAO, X.; LI, W.; HOU, J. Application of GIS based ecological vulnerability evaluation in environmental impact assessment of master plan of coal mining area. **Procedia Environmental Sciences**, v. 18, p. 271-276, 2013.

MACEDO, D. R. et al. Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1267-1279, 2018.

MARTINS, K. A. et al. Determinação da erosão costeira no Estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.17, n.3, p.533-546, 2016.

PERES, R. B.; CHIQUITO, E. A. Ordenamento Territorial, Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional: Novas questões, possíveis articulações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 71-86, nov. 2012.

PIPPI, L. G. A.; TRINDADA, L. C. O Papel da Vegetação Arbórea e das Florestas nas Áreas Urbanas. **Paisagem e Ambiente: Ensaios**, São Paulo, n. 31, p. 81-96, 2013.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. In: FFLCH-USP/FAPESP/IPT, 1997. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/53703/57666>>. Acesso em 12 fev. 2019.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 7, n. 2, p. 03-12, 2006.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Ficha Técnica: Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UCB)**. São Paulo: Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2015. Disponível em: <http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Ficha_Tecnica_UBC_v2.pdf>. Acesso em 18 fev. 2019.

SILVA, A. L. **Análise da Qualidade Ambiental de Remanescentes Florestais por meio de métricas de paisagem: Um estudo no município de Campinas/SP**. 2020. 173 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2020.

SILVA, A. L. et al. Uso e ocupação do solo e a relação com a fragilidade dos remanescentes florestais na bacia hidrográfica do rio Cértima/Portugal. **Cadernos de Geografia**, Coimbra, n. 40, p. 37-52, 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Urban green spaces: a brief for action**. WHO General Office from Europe. 2017. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0010/342289/Urban-GreenSpaces_EN_WHO_web.pdf?ua=1>. Acesso em: 28 out. 2018.