ESPAÇO EM REVISTA
ISSN: 1519-7816

A ANÁLISE DA PAISAGEM COMO SUBSÍDIO PARA A GESTÃO AMBIENTAL URBANA: estudo da bacia hidrográfica do Córrego do Enxofre, Piracicaba/SP

Soraya Joussef Carvalho
UNESP/IGCE – Rio Claro
E-mail: soraya.carvalho@unesp.br

Roberto Braga
UNESP/IGCE- Rio Claro
E-mail: roberto.braga@unesp.br

Resumo
A paisagem urbana é um conceito geográfico que, por ser integrador de elementos físicos, bióticos e antrópicos interdependentes é de fundamental importância na gestão ambiental das cidades. O presente estudo efetua uma caracterização da paisagem urbana da bacia do córrego do enxofre, na cidade de Piracicaba-SP, como subsídio à gestão ambiental. São definidas unidades de paisagem, as quais foram posteriormente analisadas com base em metodologia de avaliação da qualidade ambiental urbana. Os indicadores socioambientais utilizados possibilitaram compreender a dinâmica e as restrições ambientais das unidades de paisagem da área de estudo. Os indicadores considerados foram contabilizados dentro de categorias de análise como: moradia, drenagem, infraestrutura urbana, serviços e conforto do ambiente. As análises foram trabalhadas em ambiente de SIG (QGIS 3.10.6), dados coletados em visitas de campo, adquiridos por imagens de satélite e pelo banco de dados da prefeitura municipal. Os índices resultantes da avaliação dessas categorias demonstraram ser úteis na caracterização ambiental das unidades de paisagem urbana, permitindo sua avaliação em termos de restrições urbanísticas. O estudo evidenciou o potencial da análise da paisagem urbana como conceito importante de gestão do meio ambiente, de modo a conciliar a capacidade de uso e as limitações do meio ao uso e ocupação do solo.
Palavras-chave: análise da paisagem; gestão ambiental urbana; paisagem urbana; planejamento de paisagem.

LANDSCAPE ANALYSIS AS A SUBSIDY FOR URBAN ENVIRONMENTAL MANAGEMENT: A case study of "Córrego do Enxofre" hydrographic basin, Piracicaba/SP

Abstract
The urban landscape is a geographic concept that due your ability of including physical, biotic and anthropic interdependent elements, it has a fundamental importance for environmental management within cities. The following study characterizes the urban landscape of "Córrego do Enxofre" hydrographic basin, in Piracicaba City, São Paulo State, as a subsidy for environmental management. Landscape units were defined and then analyzed based on urban environmental quality methodology. The socioenvironmental indicators were applied and enabled to comprehend the environmental dynamics and restrictions within each landscape unit of the study area. The chosen indicators were accounted in analysis categories, such as: habitation, pluvial water draining systems, urban infrastructure, services and environmental comfort. The tool used to work with the analysis and characterization using data from the municipality, field trip and satellite images was the software QGIS 3.10.6 (Geographic Information Systems). The categories evaluation provided a final index which reflected to be useful for environmental characterization of urban landscape units, allowing your evaluation on urban restrictions. The study proved the potential of urban landscape analysis as an

important concept for environmental management, reconciling the land use capacity and its environmental limitations.
Keywords: landscape analysis; urban environmental management; urban landscape; landscape planning.

Introdução

As mudanças ambientais e alterações na paisagem urbana são indicadores úteis para análises e prognósticos sobre as degradações e impactos ambientais nas cidades. Nesse sentido, considerações sobre o ordenamento de solo urbano podem ser feitas à luz da análise e diagnóstico da paisagem, para que se encontre a proporção ideal de espaços construídos e espaços livres a fim de manter a resiliência do meio ambiente (CAVALHEIRO, 2009).Desse modo, é importante diferenciar os conceitos de ambiente e paisagem, Christofoletti (1999) descreve o primeiro como uma área sem escala específica, possibilitando aplicação de estudos de diversas escalas, como ambientes terrestres, oceânicos, sociais, culturais etc. O segundo, conforme Bertrand (1972) se constitui de uma porção do espaço, produto das relações dinâmicas e instáveis dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, que tornam a paisagem o reflexo de uma constante mudança.

Estêvez et al., (2011) evidenciam a importância e necessidade da compreensão das alterações da paisagem por uma análise integrada das variáveis físicas, biológicas e antrópicas, para que se possibilite suporte ao entendimento de sua composição e dinâmica. Nuno (2018), por sua vez, revela que a paisagem recentemente tornou-se uma dimensão a se ter em conta no processo de planejamento, por integrar diversas variáveis qualitativas e quantitativas, que possibilitam inferir alternativas para as unidades de paisagem locais estimulando a participação e envolvimento dos atores locais.

Assim, as unidades de paisagem, segundo Metzger (2001) podem ser analisadas tanto por uma perspectiva geográfica, quanto por uma perspectiva ecológica. A primeira se caracteriza por evidenciar os aspectos territoriais, como as características hidro-geomorfológicas e o histórico de ocupação antrópica comum, enquanto a segunda se volta para a análise da cobertura homogênea de usos, recobrimento do solo, cobertura vegetal e ecossistemas.

Para realização dessa análise, as unidades de paisagem locais podem ser delimitadas conforme a interação entre diversos atributos do sistema natural e antrópico, o que permite a identificação dos parâmetros que influenciam na dinâmica da mesma e as fragilidades

ambientais de cada unidade, sendo essencial para gestão urbana e ambiental (AMORIM; OLIVEIRA, 2008).

Nesse sentido, a análise de unidades de paisagem é relevante tanto nos estudos ambientais, quanto para a proposição de políticas públicas vinculados ao planejamento territorial e gestão ambiental. Também se coaduna para a instrumentalização dos mecanismos e instrumentos voltados a disciplinar as ações antrópicas e o uso do solo, delimitando áreas que apresentam restrições, por meio de diagnóstico e levantamentos de componentes bióticos e abióticos condicionantes.

Em vista da discussão sobre quais aspectos abranger a fim de refletir a realidade da unidade de paisagem, Cavalheiro, Presotto & Rocha (2003) consideram que a paisagem deve ser avaliada em todas suas heterogeneidades, observando seu suporte, cobertura, hidrografia, assim como a infraestrutura, drenagem urbana, áreas verdes, espaços construídos, entre outros. A paisagem para os autores, portanto, deve ser estudada desde um recorte maior até seus menores detalhes, individualizados no todo.

Diante disso, para uma avaliação com maior enfoque em conciliar a análise da paisagem com a gestão ambiental, Nucci (2010) evidencia o exemplo da política ambiental alemã, que tem como base o planejamento de paisagem, desde 1976, quando foi aprovada a Lei Federal de Proteção da Natureza. Tal lei definiu os objetivos do planejamento da paisagem em áreas urbanas e rurais como proteção e manejo da natureza e da paisagem e metas de salvaguardar a diversidade da fauna e flora, as paisagens e seus elementos e os recursos naturais.

Não obstante, Nucci (2010), considera que para propor o planejamento da paisagem como instrumento de gestão, até que se encontre um consenso, deve ser definido o conceito e a explanação do método de pesquisa sempre que é utilizado o termo “paisagem”, pois por ser vasto e diversificado, pode acabar por se tornar pouco claro.Assim, trabalha-se com um dos conceitos mais utilizados nos estudos de paisagem que é o de unidade de paisagem, com base no conceito proposto pela Convenção Europeia de Paisagem, que entende Paisagem como “ qualquer parte do território, como é percebido pelas populações, cujo caráter resulta da ação de fatores naturais e humanos e de suas inter-relações” (GINÉ, 2012) . Dessa forma, uma unidade de paisagem, se caracteriza por ter tais características apresentadas de forma relativamente homogênea numa porção espacial delimitada.

Similarmente, diversos estudos destacaram a importância da análise de unidades de paisagem na avaliação da qualidade dos cursos hídricos. A energia, materiais e nutrientes em

uma paisagem são influenciados pela sua permeabilidade, conectividade, agregação e configuração (MITCHELL ET AL., 2013; SHEHAB ET AL., 2021). Para Shehab et al (2021) é importante a identificação dos impactos ambientais com ênfase em padrões de uso e ocupação do solo e métricas de análise da paisagem a fim de implementar estratégias de gestão da água e do meio ambiente como um todo.

Nesse contexto, a bacia hidrográfica pode ser considerada uma unidade de análise ambiental, a fim de entender ações humanas e suas consequências, o arranjo dos seus cursos e a ocupação não planejada de suas margens, que exercem papel fundamental como modeladores de paisagem (ALMEIDA, 2015).

Assim, o presente estudo tem como objetivo efetuar uma caracterização da paisagem urbana da bacia do Córrego do Enxofre, na cidade de Piracicaba-SP, como subsídio à gestão ambiental. Para tanto foram definidas unidades de paisagem, as quais foram posteriormente analisadas com base em metodologia de avaliação da qualidade ambiental urbana.

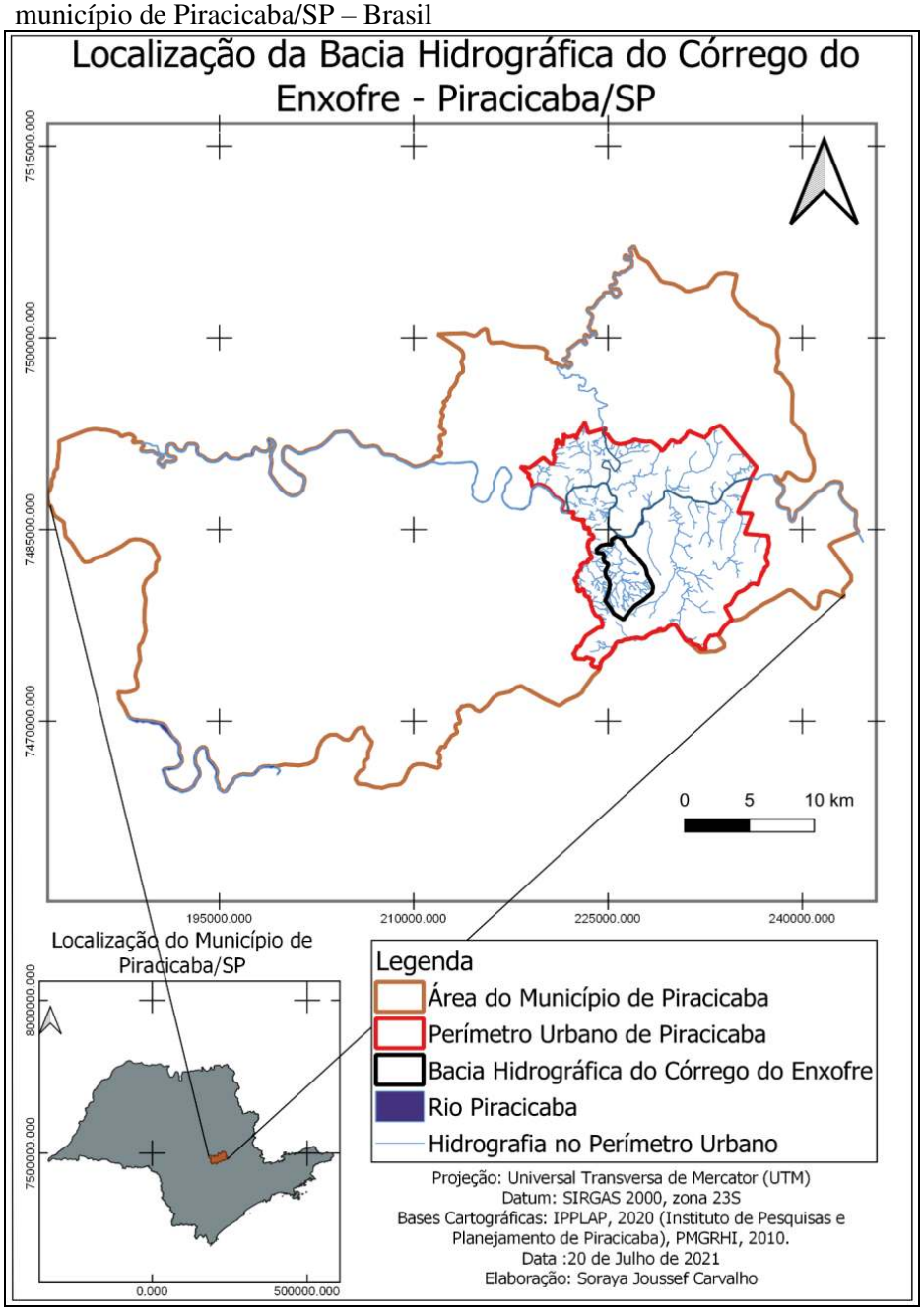
Área de estudo

O município de Piracicaba abrange uma área territorial de 1.378,50 km ² do Estado de São Paulo, dos quais são contabilizados 233,36 km² de área urbana. Situa-se na média depressão periférica paulista, e é caracterizado pelo Clima Tropical de Altitude (IPPLAP, 2021). Atualmente, possui uma população estimada de 410.275 pessoas (IBGE, 2021).

A bacia hidrográfica do Córrego do Enxofre localiza-se na porção sudoeste da cidade de Piracicaba (Figura 1) e ocupa 15,6 km² do perímetro urbano, com aproximadamente 79 mil habitantes (IBGE, 2010), concentrando grande parte da população da cidade.

A Formação Corumbataí, datada do período Permiano, recobre a bacia hidrográfica e seu relevo é classificado como morrotes alongados e espigões. A área é caracterizada pelo seu histórico de enchentes, por ser dotada de usos do solo diversos, com presença de cultura canavieira, pastagem, mancha urbana, maciços arbóreos, e características socioeconômicas desiguais, com existência de condomínios residenciais de alto padrão e habitações subnormais em áreas de risco (Carvalho & Braga, 2020).

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Enxofre no município de Piracicaba/SP – Brasil



Fonte: IPPLAP (2020); Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos de Piracicaba (2010).

Metodologia

A metodologia aplicada pode ser dividida em três etapas. Primeiramente foi realizada a identificação das unidades de paisagem, por meio da sobreposição em ambiente SIG (QGIS 3.10.6) dos dados adquiridos pelo Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba (2020) e classificação das imagens de satélite Sentinel – 2 e SRTM disponíveis no site da USGS (2020). Posteriormente, foi aplicado um protocolo de avaliação rápida, cuja análise dos

resultados complementou as informações já adquiridas na delimitação das unidades de paisagem. Para finalizar, as unidades de paisagem foram caracterizadas e analisadas em termos de restrições urbanas e ambientais, por meio dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia de avaliação de qualidade ambiental urbana.

Identificação das Unidades de Paisagem

Atualmente o conceito de paisagem já adquiriu diversos significados e metodologias de análise, Ferreira & Saadi (2015) demonstram em estudo de unidades de paisagem que a diversidade paisagística é composta por fatores determinantes (físicos, de cobertura vegetal e uso do solo), recursos e meios condicionantes do uso do território, estruturas socioeconômicas dominantes e pela relação desses, são refletidas as limitações e potencialidades da paisagem.

Cavalheiro, Presotto & Rocha (2003) utilizaram cartas geológicas e geomorfológicas nas escalas 1:10.000 e mapeamento de áreas verdes, áreas livres e cemitérios nas escalas 1:4.000 para definir as unidades de paisagem. Os autores basearam-se na conceituação de paisagem de Monteiro (2000) que a propõe como uma entidade espacial resultado da integração instável e dinâmica dos elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos) expressados em divididas e infinitas porções do espaço individualizadas pelas suas inter-relações que organizam o complexo todo. Tais unidades devem ser delimitadas segundo o nível de resolução do pesquisador e partindo dos objetivos centrais de análise.

Nuno (2018), por sua vez, propõe uma metodologia para identificar e caracterizar as unidades de paisagem com base nas variáveis de suporte biológico, físico e ação humana, abordando questões de cobertura, solos, hidrografia e habitat, assim como uso e ocupação, formações, relevos e declividade.

Baseando-se na metodologia de classificação de unidades de paisagem proposta por Cavalheiro, Presotto & Rocha (2003), bem como nos trabalhos de Nuno (2018) e de Ferreira & Saadi (2015), foram delimitadas as Unidades de Paisagem da bacia hidrográfica partindo com a identificação de coberturas homogêneas das variáveis consideradas pela sobreposição de cartas temáticas de informações sobre hipsometria, declividade, uso e ocupação do solo, hidrografia , áreas de risco, cobertura vegetal e vazios urbanos da área em ambiente SIG (QGIS 3.10.6) trabalhados em escalas 1:50.000 a 1:10.000 e de informações obtidas em visita de campo e aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida, desenvolvido por Callisto et al., (2002).

Protocolo de Avaliação Rápida

O Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats em trechos de bacias hidrográficas, proposto por Callisto et al., (2002) e aplicado no trabalho de Carvalho & Braga (2020), permite descrever e caracterizar, por meio de parâmetros ambientais (quadro 1), a dinâmica dos elementos bióticos e abióticos. Tais parâmetros foram aplicados em 5 (cinco) pontos da bacia hidrográfica e os resultados dessas análises corroboraram a delimitação das unidades de paisagem.

Quadro 1 - Parâmetros analisados na Bacia Hidrográfica do Enxofre pela aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Callisto et al., (2002)

PARÂMETROS ANALISADOS (Protocolo de Avaliação Rápida)	
Tipo de Ocupação das Margens do Corpo D'água (principal atividade)	Presença de Plantas Aquáticas
Erosão próxima e/ou nas margens do rio e assoreamento em seu leito	Extensão de Rápidos
Alterações antrópicas	Frequência de Rápidos
Cobertura Vegetal no leito	Tipos de Substrato
Odor da água	Deposição de Lama
Oleosidade da Água	Depósitos Sedimentares
Transparência da água	Alterações no canal do rio
Odor do sedimento (fundo)	Características do Fluxo das Águas
Oleosidade do Fundo	Presença de Mata Ciliar
Tipo de Fundo	Estabilidade das Margens
Tipos de Fundos	Extensão de Mata Ciliar

Fonte: Callisto et al. (2002), adaptado pelos autores (2021)

Avaliação de Qualidade Ambiental Urbana

A avaliação de qualidade ambiental urbana foi baseada em Nucci (2008), Dias (2011), Silva et al. (2017) e realizado por Carvalho & Braga (2021). A avaliação foi feita, para cada unidade de paisagem, com base em 18 (dezoito) indicadores subdivididos em 6 (seis) categorias de análise (quadro 2).Para cada categoria foi calculado um índice parcial pela média geométrica dos indicadores. O índice final de Qualidade Ambiental Urbana foi obtido pela média geométrica dos índices parciais das categorias e não foram adotados pesos para os indicadores e índices.

Quadro 2 - Categorias de Análise e Variáveis

CATEGORIA DE ANÁLISE	Variáveis
Moradia	Habitações Subnormais
	Áreas não urbanizáveis (declividade >30)
	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social
	Vazios Urbanos
RESULTADO índice parcial (média geométrica)	
Drenagem da Área	Elementos de Drenagem Urbana
	Áreas Impermeáveis
	Cobertura Vegetal
	Áreas Risco Deslizamento/Inundação
RESULTADO índice parcial (média geométrica)	
Infraestrutura Urbana	Iluminação Pública
	Pavimentação das Vias
RESULTADO índice parcial (média geométrica)	
Serviços Urbanos	Comércio e Serviços
	Educação
	Saúde
RESULTADO índice parcial (média geométrica)	
Conforto do Ambiente	Protocolo de Avaliação Rápida
	Áreas Contaminadas
	Usos Potencialmente Poluidores
RESULTADO índice parcial (média geométrica)	
Arborização e Áreas Verdes	Áreas Verdes e de Lazer
	Arborização Viária
IQAU FINAL GEOMÉTRICO (média geométrica dos índices parciais)	

Fonte: Carvalho & Braga (2021)

As variáveis foram trabalhadas por meio de produtos cartográficos adquiridos pela coleta de dados primários, colhidos em visita de campo, e dados secundários, como vetores em formato *.shapefile*, e imagens georreferenciadas, em formato *.tiff* disponíveis pelos *sites* da Prefeitura Municipal de Piracicaba e do Instituto de Pesquisas e Planejamento de Piracicaba. Os dados faltantes foram elaborados por Carvalho & Braga (2021) a partir do processamento e classificação digital de imagens de satélite disponíveis pelo site da USGS (SRTM e satélite Sentinel – 2) e pelo *software Google Earth Pro* (satélite Landsat-8 da NASA).

Quadro 3 - Variáveis e Produtos Cartográficos

Variável	Produto Cartográfico
Usos Potencialmente Poluidores	Elaborado utilizando informações do Google Earth Pro (2020); Presença de serralherias, mecânicas, funilarias, postos de gasolina, venda de veículos, acessórios e peças, depósitos e transportadoras, estacionamentos; baseado em metodologia do Nucci (2008).
Protocolo de Avaliação Rápida	Feito para caracterização de pontos da bacia por protocolo aplicado pela autora e desenvolvido por Callisto (2002).
Áreas de Risco	Áreas com risco de deslizamento e inundação; conforme estudo realizado pelo IPPLAP e IPT.
Áreas Contaminadas	Elaborado para caracterização de áreas contaminadas; conforme Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas pela CETESB (2019).
Declividade (> 30%)	Áreas não urbanizáveis (declividade > 30%); PDI e vetorização a partir de imagem SRTM.
Cobertura Vegetal (Cv)	Mapa de Uso do Solo; PDI e classificação com imagem Sentinel – 2.
Áreas Impermeáveis	Mapa de Uso do Solo; PDI e classificação com imagem Sentinel - 2.
Vazios Urbanos	Vetorização dos Vazios Urbanos Físicos e de Uso por meio do Google Earth (Landsat – 7).
IPVS	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social de acordo com dados da SEADE e IPPLAP (2019).
Saúde	Mapa de equipamentos de saúde do IPPLAP (2019); Presença de PSF, UBS, Farmácia e CRAB.
Educação	Mapa de equipamentos de educação do IPPLAP (2019); Presença de : EI, EFI, EFII e EM.
Comércio e Serviços	Elaborado pela autora utilizando informações do *Google Earth Pro* (2020); Presença de mercado, panificadora, papelaria, gás, banco, instituição religiosa e chaveiro.
Pavimentação das Vias	Vetores do Sistema Viário por IPPLAP (2019).
Arborização Viária	Vetores do Sistema Viário por IPPLAP (2019)
Iluminação Pública	Vetores do Sistema Viário por IPPLAP (2019).
Sistemas de Lazer e Áreas Verdes	Vetores dos Sistemas de Lazer e Áreas Verdes por IPPLAP (2019).
Habitações Subnormais	Mapa do IPPLAP (2019) de favelas, adaptado pela autora com base em imagens do *Google Earth Pro* (2020).
Drenagem Urbana	Vetores de equipamentos de drenagem urbana; Presença de galerias pluviais, bueiros, valas e drenos, açudes permanentes e intermitentes e barragens.

Fonte: Carvalho & Braga (2021).

Como as áreas dos cursos não são equivalentes e foram divididas com base nos perímetros dos bairros para facilitar a coleta e sistematização de dados, os indicadores

utilizados, em sua maioria, foram proporcionais às respectivas áreas, com exceção das categorias que trabalham com existência ou não de variáveis.

Dessa maneira, os indicadores foram padronizados pela ferramenta "Calculadora de Campo" do QGIS 3.10.6 (quadro 4), numa escala de 0 a 1, onde 0 foi considerado o pior resultado encontrado no contexto estudado e 1, o melhor resultado. Esses indicadores são detalhados pelo quadro 4.

Quadro 4 - Variáveis e Indicadores de Qualidade Ambiental Urbana

VARIÁVEIS	Indicadores de Qualidade Ambiental Urbana
Usos Potencialmente Poluidores	[1 - (nº usos pot. poluidores * 0.4 / extensão das vias (km)]
Protocolo de Avaliação Rápida	Resultado Protocolo Avaliação Rápida[1]
Áreas de Risco	[1 - (Área risco * 10 / Área total)]
Áreas Contaminadas	[1 - (nº áreas contaminadas / Área total (km²)]
Declividade (> 30%)	[1 - (Área com declividade alta * 10 / Área total)]
Cobertura Vegetal (Cv)	(Área da cobertura vegetal/Área total) ; $Se\ Cv \geq 0{,}3\ \therefore 1$
Áreas Impermeáveis	[1 - (Área impermeável / Área total)]
Vazios Urbanos	[1 - (Área vazios / Área total)]
IPVS	[1 - (Área IPVS / Área total)]
Saúde	Existência de todos elementos = 1 ; Nenhum = 0
Educação	Existência de todos elementos = 1 ; Nenhum = 0
Comércio e Serviços	Existência de todos elementos = 1 ; Nenhum = 0
Pavimentação das Vias	Extensão vias pavimentadas / extensão das vias total
Arborização Viária (Iav)	[n º de árvores / 10 * extensão vias (km)] ; $Se\ Iav \geq 7\ \therefore 1$
Iluminação Pública (Ip)	[nº de postes / 10 * extensão vias (km)] ; $Se\ Ip \geq 3\ \therefore 1$
Sistemas de Lazer e Áreas Verdes (Ilav)	[Áreas de lazer e verdes * 100 / Atotal] ; $Se\ Ilav \geq 2{,}5\ \therefore 1$
Habitações Subnormais	[1 - (Área habitações subnormais * 10 / Área total)]
Drenagem Urbana	Existência de todos elementos = 1 ; Nenhum = 0

Fonte: Carvalho & Braga (2021)

Por fim, os resultados dos indicadores foram extraídos pela ferramenta copia e cola e, os índices parciais e final foram calculados pela função da média geométrica no *software Microsoft Excel* e são descritos a seguir (eq. 1 e 2):

$$IQAU\ parcial\ (por\ categoria) = \sqrt[\eta]{v_1 * v_2 * \ldots * v_\eta}\ ;\ v_n = variável\ analisada \quad \text{(Eq.1)}$$

$$IQAU\ final = \sqrt[N]{C_1 * C_2 * \ldots * C_N}\ ;\ C_N = Índice\ parcial\ das\ categorias \quad \text{(Eq. 2)}$$

Resultados e discussões

A partir da sobreposição dos produtos cartográficos, bem como da compilação de dados colhidos em visitas de campo, foram identificadas 3 (três) unidades de paisagem (UPs), correspondentes aos cursos da hidrografia. Na figura 2, são apresentadas e identificadas as unidades de paisagem e sua respectiva localização.

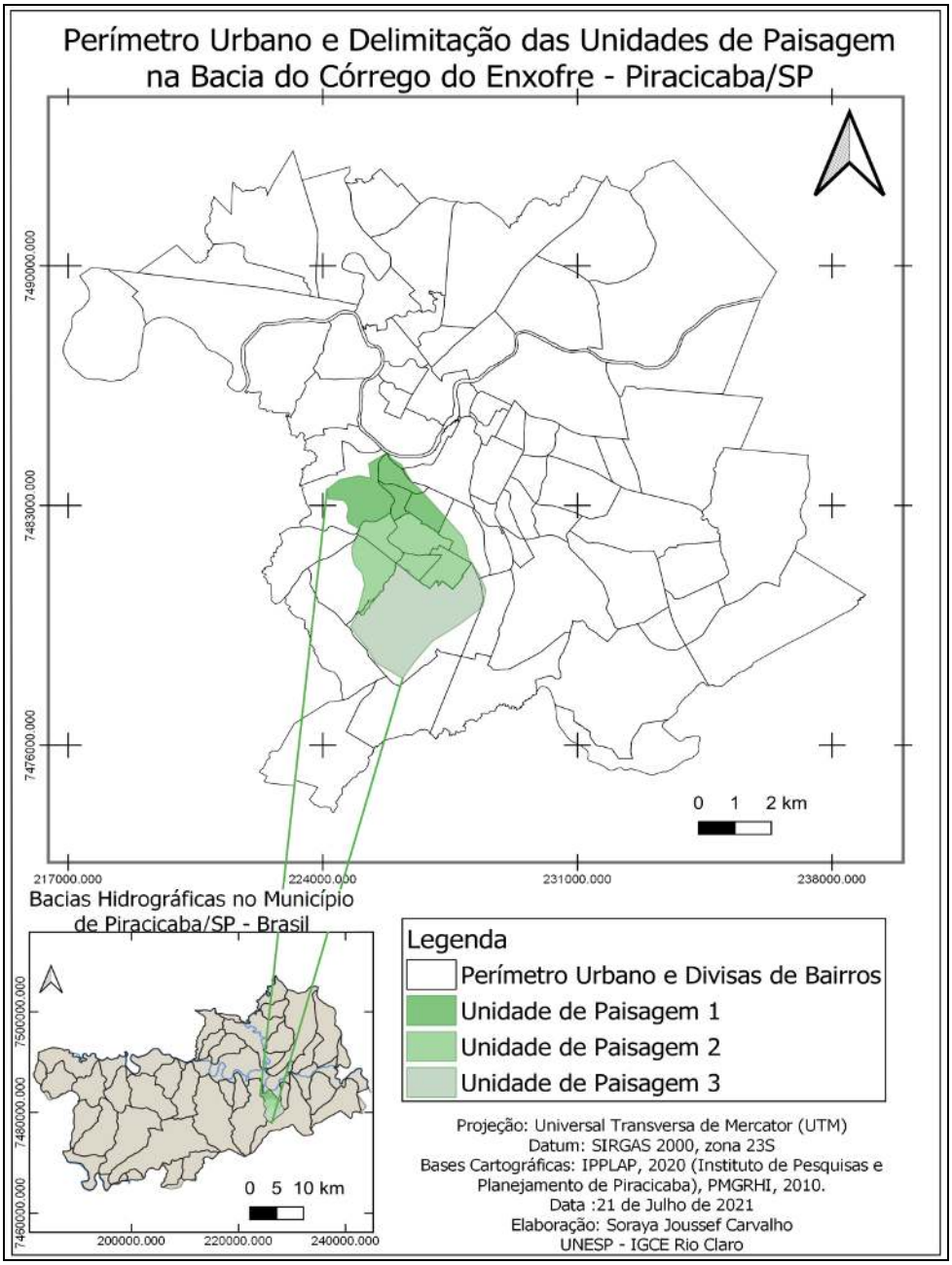
A unidade de paisagem 1 ocupa uma área de 3,7 km². É caracterizada por possuir menores variações de altitude, abrangendo grande região de várzea da bacia do Córrego do Enxofre que se une juntamente com trecho de várzea do Rio Piracicaba. Possui a maior quantidade de áreas não urbanizáveis pela existência de locais com declividade maior que 30%. Embora seja uma área bem urbanizada, há a presença de grandes vazios urbanos, ocupados por áreas de pasto e cultura canavieira. Encontra-se também uma área degradada pela atividade de mineração, que atualmente, devido ao encerramento, se encontra em processo lento de reflorestamento. A área específica de extração de basalto a céu aberto, parcela da área total da ANM, de 40.5 ha acabou por gerar a ocorrência de um largo açude no local. Nesta unidade apenas uma área de risco, uma área de passagem de enchente (foz do enxofre que deságua no Piracicaba), As Áreas de Preservação Permanente encontram-se pouco vegetadas, o que auxilia na alteração e no processo de degradação do curso hídrico.

A unidade de paisagem 2 ocupa uma área de 5,5 km². É a mais intensamente urbanizada. Embora possua um menor percentual de áreas não urbanizáveis pela limitação da declividade, boa parte dessas encontram-se ocupadas, sobretudo por população de baixa renda. É também a unidade que possui maior variação hipsométrica. É a unidade de paisagem mais urbanizada, com poucos vazios urbanos e maior quantidade de áreas impermeáveis, e menor cobertura vegetal, onde o meio tem de suportar uma maior pressão antrópica. Nessa Unidade de Paisagem ocorre grande parte dos núcleos de habitação subnormal do município (favelas) a maioria próximo a áreas de risco de deslizamento e de inundações. É também a área como menos índice de cobertura vegetal.

A unidade de paisagem 3 ocupa uma área de 6,4 km². Possui as maiores altitudes, com pequenas e poucas áreas não urbanizáveis devido à declividade. O uso e ocupação do solo dessa unidade é o mais diverso, pois embora exista uma boa cobertura de mancha urbana,

a área conta com o maior número e frequência de vazios urbanos, e assim, presença de atividades de agricultura e pecuária, e maior cobertura vegetal e maciços arbóreos. Consequentemente, a área possui maior permeabilidade, e assim a hidrografia se encontra menos degradada e alterada, tendo seus limites de Área de Preservação Permanente majoritariamente respeitados, e presença de quantidade mínima de áreas de risco.

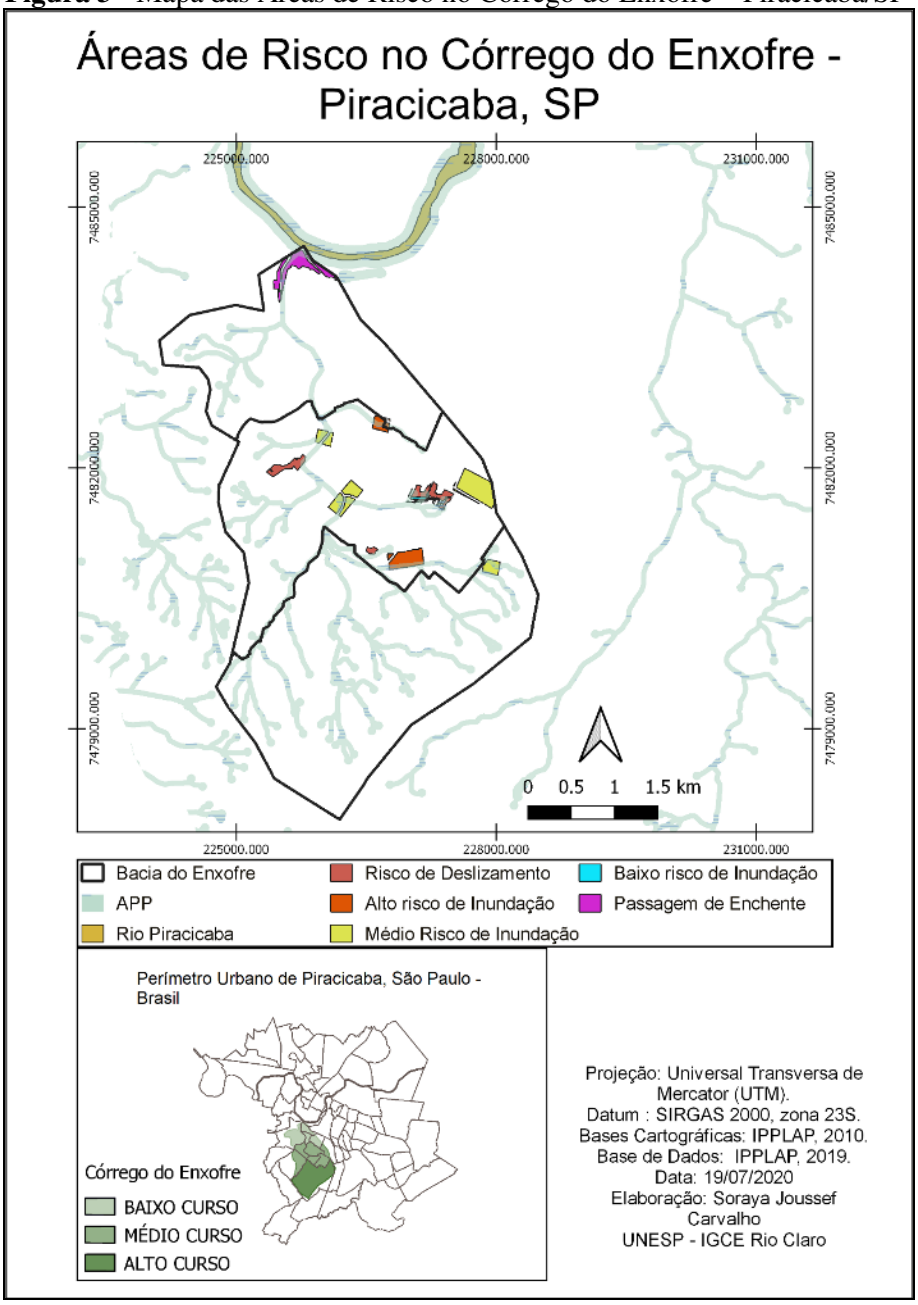
Figura 2 - Delimitação das Unidades de Paisagem no Curso Hídrico do Córrego do Enxofre – Piracicaba/SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se observar (figura 3) que a maior parte das áreas de risco da bacia do Córrego do Enxofre localizam-se na unidade de paisagem 2. De fato esta unidade de paisagem é a que apresenta urbanização mais intensa, topografia mais acidentada, menor índice de cobertura vegetal, bem como concentra a população de mais baixa renda, inclusive com a ocorrência de favelas.

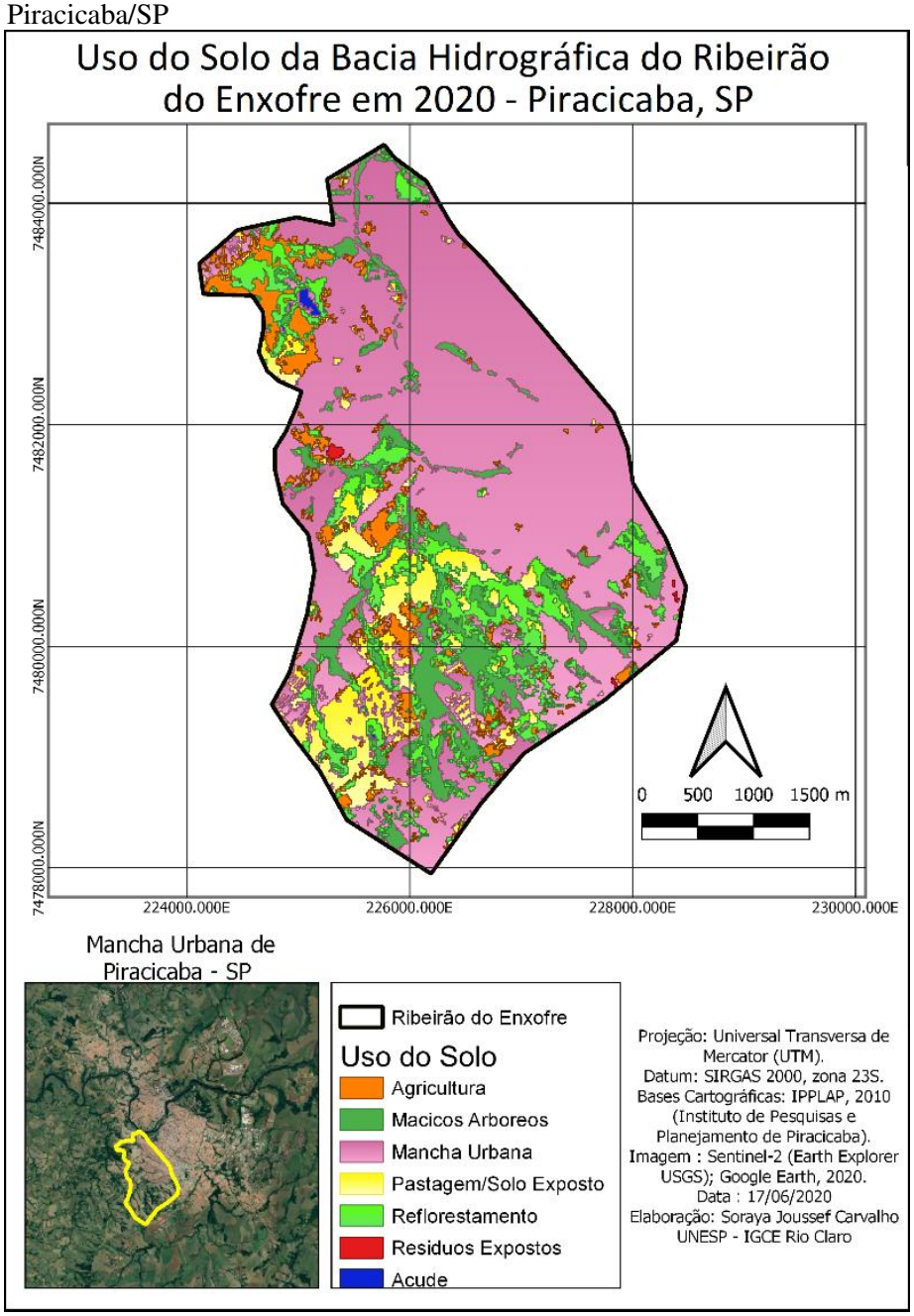
Figura 3 - Mapa das Áreas de Risco no Córrego do Enxofre – Piracicaba/SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir dessas observações e do mapa das áreas de risco, foi possível compreender algumas restrições que apresentam cada unidade de paisagem, na qual a unidade com maiores restrições, seria a UP2, pela presença de áreas de risco e a com menores restrições, a UP3 por possuir um uso e ocupação do solo mais diversificado, com menor pressão antrópica (Figura 4).

Figura 4 - Mapa do Uso e Ocupação do Solo no Córrego do Enxofre – Piracicaba/SP



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para compreender melhor as condições ambientais de cada unidade de paisagem, as unidades foram analisadas com base na metodologia de avaliação de qualidade ambiental

urbana, que obteve os índices, valores que variam de 0 (zero) a 1 (um) onde 0 (zero) corresponde à 0% (0 por cento) e 1 (um) à 100% (cem por cento), apresentados no quadro 5.

Quadro 5 - Resultados dos Índices Parciais e Finais da Qualidade Ambiental Urbana

CATEGORIA DE ANÁLISE	INDICADOR	**BAIXO CURSO**	**MÉDIO CURSO**	**ALTO CURSO**
	Habitações Subnormais	0,991320857	0,132269308	0,989113530
	Áreas não urbanizáveis (declividade >30)	0,813997	0,981120	0,961334
	Índice Paulista de Vulnerabilidade Social	0,9796580	0,4290955	0,9833590
Moradia	Vazios Urbanos	0,6744	0,8602	0,5381
Índice parcial geométrico de Moradia		0,8544905709	0,4678252433	0,8422167676
	Drenagem Urbana	0,667	1,000	1,000
	Áreas Impermeáveis	0,30567	0,18914	0,60809
	Cobertura Vegetal	0,461066	0,348566	1,000000
Drenagem da Área	Áreas Risco de Deslizamento/Inundação	0,76	0,27	0,96
Índice parcial geométrico de Drenagem da Área		0,5169979668	0,3652649858	0,8740972897
	Iluminação Pública	1,000000000	1,000000000	0,688539161
Infraestrutura Urbana	Pavimentação das Vias	0,991334800	0,941479243	0,764701207
Índice parcial geométrico de Infraestrutura Urbana		0,9956579734	0,9702985329	0,7256216145
	Comércio e Serviços	1,0000	0,8570	0,5714
	Educação	1	1	1
Serviços Urbanos	Saúde	0,50	1,00	0,75
Índice parcial geométrico dos Serviços Urbanos		0,7937005260	0,9498614756	0,7539348751
	Protocolo de Avaliação Rápida	0,570	0,525	0,650
	Áreas Contaminadas	0,72877	1,00000	0,53340
Conforto do Ambiente	Usos Potencialmente Poluidores	0,6091445428	0,7001230838	0,8919262556
Índice parcial geométrico do Conforto do Ambiente		0,6325019954	0,7163268556	0,6762362362
	Áreas Verdes e de Lazer	0,976720000	0,330800000	0,382457609
Arborização e Áreas Verdes	Arborização Viária	0,937142857	0,907142857	0,632857100
Índice parcial geométrico da Arborização e Áreas Verdes		0,9567268008	0,5477981901	0,4919766390
IQAU FINAL (geométrico) por índice parcial geométrico.		0,7717360698	0,6287792409	0,7153387808

Fonte: Elaborado pelos autores

Pelo resultado dos índices finais de qualidade ambiental urbana foi possível chegar a uma maior certeza em relação à delimitação das unidades de paisagem, ao perceber que as três se diferenciam acerca dos indicadores e categorias de análise abordadas. As Unidades de Paisagem 1 e 3 apresentam maiores quantidades de vazios urbanos e menores de áreas de risco, bem como população de estratos socioeconômicos mais altos. A Unidade de Paisagem 2 concentra o maior percentual de população de baixa renda, habitações subnormais, bem como a maior quantidade de áreas de risco ambiental.

Embora a Unidade de Paisagem 2 apresente uma boa drenagem urbana, não é o suficiente para conter os riscos causados pela problemas ambientais da bacia. O protocolo de avaliação rápida apontou ausência de mata ciliar, baixa permeabilidade, baixa cobertura vegetal e presença de habitações irregulares nesses locais, caracterizando esta área como a unidade de paisagem mais alterada.

A Unidade de Paisagem 1, possui embora tenha problemas de drenagem e boa quantidade de usos potencialmente poluidores, apresenta apenas uma área de risco e a paisagem menos degradada que a Unidade de Paisagem 2. Nessa área também se concentram alguns dos principais condomínios de alta média e alta renda do município, o que torna o seu perfil socioeconômico bem distinto da Unidade de Paisagem 2.

A Unidade de Paisagem 3, embora apresente menos problemas de drenagem e um maior índice de cobertura vegetal, ainda possui uma boa quantidade de áreas contaminadas. No que se refere à paisagem, é a área que se encontra menos alterada e com menores riscos, maior diversidade do uso do solo, mais áreas permeáveis, maior preservação de APP, o que implica uma menor degradação da bacia hidrográfica.

Considerações finais

A delimitação das unidades de paisagem e sua caracterização pela metodologia de qualidade ambiental urbana, demonstrou-se adequada para a avaliação ambiental urbana. Nesse sentido, o procedimento possibilitou uma análise eficaz e simples para estudos visando compreender as condicionantes ambientais e urbanas. Embora o índice final não tenha refletido da melhor forma o quão alteradas as paisagens se encontram, a análise dos índices de forma individualizada e parcial demonstrou refletir bastante os cenários encontrados em campo. Dessa forma, a delimitação das unidades de paisagem e análise das variáveis

separadamente se demonstrou útil para caracterização das Unidades de Paisagem em termos de restrições.

Os resultados apontaram o médio curso, como a paisagem mais alterada e possuindo maiores restrições em questões ambientais e urbanísticas, devendo seu solo ser disciplinado para promover a recuperação das áreas degradadas e sua requalificação urbana e ambiental. O baixo curso também possui uma paisagem alterada, devendo se preocupar em questões ambientais relativas ao curso hídrico e drenagem da área, por possuir restrições ambientais maiores. O alto curso, por sua vez, é o que se apresenta com menores restrições urbanas, devendo só se atentar a restrição ambiental relativa à quantidade de áreas contaminadas próximas no mesmo local, o que pode acabar afetando moradores e comerciantes próximos da área que usufruem dos seus recursos naturais.

É importante nos estudos de análise de unidades de paisagem que sejam consideradas variáveis passíveis de comparação no universo de análise, sendo assim, não foram utilizadas as variáveis de geomorfologia, geologia e pedologia da área de estudo para delimitação das unidades por apresentarem homogeneidade na bacia. No entanto, recomenda-se que tais variáveis sejam utilizadas caso as mesmas se apresentem heterogêneas no contexto estudado, o que não ocorreu no presente estudo.

Sendo assim, a metodologia de análise apresentada demonstra potencial como subsídio à elaboração de Planos Diretores municipais, sobretudo no que se refere à tomada de decisão sobre o disciplinamento do uso e ocupação do solo e do controle do parcelamento e da expansão urbana.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.I.S**.** A bacia hidrográfica como unidade fundamental de análise da paisagem: a bacia do Pacuí e a sua relação com a bacia do São Francisco. *In:* **Revista Cerrados**, v.13, n.1, p.95-110, dez/2015.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. *In*: **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo: FFLCH/USP, n. 13, p. 01-27, 1972.

CALLISTO, M. et. al. Aplicação de um protocolo der avaliação rápida de diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG, RJ). **Acta Limnologica Brasiliensis**, 14(1), p.91-98. 2002.

CARVALHO, S.J. BRAGA, R. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA DA BACIA DO CÓRREGO DO ENXOFRE – PIRACICABA, SP**. 2020.

Iniciação Científica (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2021. No prelo.

CAVALHEIRO, F. URBANIZAÇÃO E ALTERAÇÕES AMBIENTAIS. *In:* DOS SANTOS, D.G, NUCCI, J.C. **PAISAGENS GEOGRÁFICAS:** Um tributo a Felisberto Cavalheiro. Campo Mourão: editora da FECILCAM (Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão), 2009. Cap. 4, p.65-77.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 10 ed., cap.3, p.35-40. São Paulo: Blucher, 1999.

DELPOUX, M. **Ecossistema e Paisagem**. 23p. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (USP), 1974.

DIAS, F.A. et al. Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia do Ribeirão do Lipa através de indicadores, CUIABÁ/MT**.** *In:* **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 127-142, abril, 2011. Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia, MG, Brasil.

ESTÊVEZ,L.F. CUNICO, C. MEZZOMO, M.M. BIESEK, A.S. MAGANHOTTO, R. Análise da paisagem da bacia hidrográfica do rio marumbi, Morretes-PR: unidades de paisagem, fragilidade potencial e hemerobia. *In*: **Raega**: o espaço geográfico em análise, Curitiba/PR, v. 23,p. 428-447. 2011. Disponível em: <www.geografia.ufpr.br/raega/> . Acesso em: 05 de fevereiro de 2021.

FERRAZ, F.F et al. PREVISÃO DE ÁREAS INUNDADAS NA CIDADE DE PIRACICABA (SP) ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS. *In:* **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n.3, p. 17-27, jul.-set., 1998.

GINÉ, S.D. *Consideraciones em torno al concepto de unidad de paisaje y sistematización de propuestas. In*: ***Estudios Geográficos***, v.LXXIII, n. 272, p.215-237, jan-jun, 2012.

GOOGLE. **Google earth pro.** Versão 7.3.3.7786. *[S.l.]:* Google LLC, [2020?]. Disponível em: https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/. Acesso em: 04 de maio de 2019.

GORSKI, M.C.B. **Rios e cidades: ruptura e reconciliação.** São Paulo: Senac São Paulo, 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados.** Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/piracicaba.html . Acesso em: 03 de agosto de 2021.

IHGP. **Carta Pedológica de Piracicaba.** Piracicaba. Disponível em: https://www.ihgp.org.br/wp-content/uploads/2014/09/carta-pedolo%CC%81gica-de-Piracicaba.jpg . Acesso em: 19 de fevereiro de 2020.

LIMA, V. **Análise da qualidade ambiental na cidade de Osvaldo Cruz/SP**. 2007. 177 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2007. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/96691. Acesso em: 01 de junho de 2019.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? *In*: **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 1, n. 1–2, p. 1–9, 2001.

MICROSOFT. Microsoft Excel. Versão 2019 . *[S.l.]*: Microsoft *Corporation*. 2019. Disponível em: https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/get-started-with-office-2019 . Acesso em: 20 de julho de 2020.

MITCHELL, M.G.E. BENNETT, E.M. GONZALES, A. *Linking Landscape Connectivity and Ecosystem Service Provision: Current Knowledge and Research Gaps*. *In:* ***Ecosystems***, v.16, p.894-908, 2013.

MONTEIRO, C.A. de F. – Geossistema: A História de uma Procura. São Paulo: **Contexto**, 2000.

NUCCI, J. C. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano um estudo de Ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP).** Curitiba: Nucci, 2008. Disponível em: <http://www.portal.ufpr.br>. Acesso em: 27 de abril de 2019.

NUCCI , J.C. Aspectos teóricos do Planejamento da Paisagem. *In:* **Planejamento da Paisagem como subsídio para a participação popular no desenvolvimento urbano**. Estudo aplicado ao bairro de Santa Felicidade – Curitiba/PR. Curitiba: LABS/DGEOG/UFPR, 2010. Cap. 02, p.14-25.

NUNO, D. A paisagem nos Planos Diretores Municipais – uma proposta metodológica para a identificação e caracterização de unidades de paisagem no município de Oeiras. *In:* **Revista de Geografia e Ordenamento do Território,** Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, n.13, p.125-146, jun. 2018.

PIRACICABA (SP). IPPLAP. **Informações Gerais**. Piracicaba. Disponível em: https://ipplap.com.br/site/a-cidade/informacoes-gerais/ . Acesso em: 10 de maio de 2021

PIRACICABA (SP). IPPLAP. **Piracicaba em Dados.** Piracicaba. Disponível em: http://ipplap.com.br/site/piracicaba-em-dados/ . Acesso em: 07 de fevereiro de 2020.

QGIS *Development Team*. QGIS *Geographic Information System*. Versão 3.10.6 *with* GRASS 7.8.3. *[S.l.]: Open Source Geospatial Foundation Project.* 2021. Disponível em: https://qgis.org/en/site/forusers/download.html. Acesso em : 02 de julho de 2021.

QUEIROZ, A.N. QUEIROGA, E.F. **Unidades de Paisagem**: materiais e metodologia para umaavaliação paisagística e ambiental. São Paulo, SP. 2013. Disponível em: http://quapa.fau.usp.br/wordpress/wpcontent/uploads/2016/03/Unidades-de-paisagem-materiais-e-metodologia-para-uma-avalia%C3%A7%C3%A3o-paisag%C3%ADstica-e-ambiental-Limeira.pdf . Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

SAUER, C.O. *The morphology of landscape. In:* ***Publications in Geography*****,** v.2, p.19-53. Berkeley, *University of California*, 1925.

SCHUTZER, J.G. Análise estratégica do relevo e planejamento territorial urbano: compartimentos ambientais estruturantes na macrometrópole de São Paulo. *In:* **Revista Labverde**, n. 5, p. 12-36, 2012.

SEADE. **Perfil dos Municípios Paulistas.** São Paulo. Disponível em: https://perfil.seade.gov.br/. Acesso em: 10 de abril de 2020.

SEMAE. **Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos**. Piracicaba, 2010. Disponível em: https://www.semaepiracicaba.sp.gov.br/?p=YXJ0aWdv&id=NzYyMQ== . Acesso em: 13 de maio de 2019.

SEMAE. **Mapa de Microbacias Hidrográficas.** Piracicaba. Disponível em: https://www.semaepiracicaba.sp.gov.br/hidrografia/ . Acesso em: 10 de abril de 2019.

SHEHAB, Z.N. JAMIL, N.R. ARIS, A.Z. SHAFIE, N.S. *Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia*. *In*: **Ecological Indicators**, v. 122, mar. 2021.

SILVA, G.V., KAICK, T.M.V., BEZERRA, S.M.C. Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana (QAU) aplicada antes e depois do processo de regularização fundiária: estudo de caso Vila Terra Santa – Curitiba/PR. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v.42, p.345-369, dezembro, 2017. Universidade Federal do Paraná (UFPR): Curitiba, Paraná, Brasil.

UNITED STATES OF AMERICA. US *Geological Survey.* ***Earth Explorer.*** Washington, DC: 2020. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em 17 de maio de 2020.