

ESTUDO LIMNOLÓGICO E HEMEROBIA DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA

SILVA, Fabio Leandro da¹
FUSHITA, Ângela Terumi²
CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da³
BIANCHINI JÚNIOR, Irineu⁴

Recebido (Received): 26-10-2020 Aceito (Accepted): 26-07-2021

Como citar este artigo: SILVA, F. L.; FUSHITA, A. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JÚNIOR, I. Estudo limnológico e hemerobia de uma microbacia hidrográfica urbana. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 765-782, 2021.

Resumo

A perda de naturalidade da paisagem tem contribuído para a alteração nos valores de variáveis limnológicas de corpos hídricos interiores, bem como a integridade dos ecossistemas nas bacias hidrográficas. A condução de análises limnológicas aliadas aos usos e cobertura da terra geram informações úteis para o planejamento ambiental e tomada de decisão quanto ao manejo de bacias hidrográficas. Frente ao exposto, o presente trabalho almejou conduzir um estudo limnológico, verificar os principais usos da terra e o grau de hemerobia da microbacia do córrego do Santa Maria do Leme, no interior do Estado de São Paulo. Para tanto, foram conduzidas seis campanhas amostrais para a mensuração das variáveis limnológicas no ano de 2020 e identificou-se os principais usos e cobertura da terra com o enquadramento das classes encontradas em diferentes graus de hemerobia, refletindo, assim, a condição de naturalidade da paisagem. Verificou-se a influência da sazonalidade e do escoamento superficial sobre as variáveis limnológicas, devido a formação de grupos distintos no diagrama de dispersão da Análise de Componentes Principais. Predominam na microbacia áreas urbanizadas (30,47%) e de lavoura temporária (25,16%), as áreas de vegetação nativa correspondem a 15,41% do território e concentra-se nas áreas de preservação permanente. A paisagem é marcada pelo alto grau de artificialidade (84,34%) e de interferência antropogênica, situação observada pelos graus de hemerobia (áreas mesohemerobióticas, eumerobióticas, polihemerobióticas e metahemerobióticas). Apesar de a possuir uma alta dependência antropogênica, os elementos naturais existentes são de grande importância para a manutenção dos corpos hídricos e funções ambientais.

Palavras-chave: Ecologia Aquática. Naturalidade. Gestão Ambiental.

LIMNOLOGICAL SURVEY AND HEMEROBY OF AN URBAN MICRO- WATERSHED

Abstract

The loss of a landscape nature has been contributing to change limnological variables values of inland water bodies as well as the integrity of ecosystems in watersheds. The conduct of limnological analyzes allied to land use and coverage provide useful information for environmental planning and decision-making on watershed management. In light of the above, the study aimed to conduct a limnological survey, check the main land uses and the degree of hemerobics on the Santa Maria do Leme watershed, in the State of São Paulo. To this end, we conducted six sample campaigns for measuring limnological variables in 2020 and it has identified the main land uses and land cover with the framing of classes found in different degrees of hemerobia, reflecting thus the naturalness of the

¹ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus de São Carlos-SP. E-mail: fabioleandro@alumni.usp.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6002-9030>.

² Professora Dr^a. na Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Campus de São Bernardo do Campo - SP. E-mail: angela.fushita@ufabc.edu.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6595-708X>.

³ Professora Dr^a. na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Hidrobiologia, Campus de São Carlos - SP. E-mail: cunha_santino@ufscar.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6048-0745>.

⁴ Professor Dr. na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Departamento de Hidrobiologia, Campus de São Carlos - SP. E-mail: irineu@ufscar.br; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9121-3794>.

landscape. Seasonality and runoff influence on the limnological variables was verified due to the formation of different groups in the Principal Component Analysis scatterplot. Urbanized areas (30.47%) and temporary farming (25.16%) predominate in the micro-basin, areas with native vegetation correspond to 15.41% of the territory and concentrate on areas of permanent preservation. The landscape is marked by a high degree of artificiality (84,34%) and anthropogenic interference, a situation noted by the degrees of hemerobia (mesohemerobiotic, eumerobiotic, polyhemerobiotic and metahemerobiotic areas). Despite having high anthropogenic dependence, the existing natural elements are of great importance for maintaining water bodies and environmental features.

Keywords: Aquatic Ecology. Naturalness. Environmental Management.

ESTUDIO LIMNOLÓGICO Y HEMEROBIA DE UNA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA URBANA

Resumen

La pérdida de naturalidad del paisaje ha contribuido a la alteración de las variables limnológicas de los cuerpos de agua continentales, así como a la integridad de los ecosistemas en las cuencas hidrográficas. La realización de análisis limnológicos combinados con el uso del suelo y la cobertura, generan información útil para la planificación ambiental y la toma de decisiones sobre el manejo de las cuencas hidrográficas. Frente a esto, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar un estudio limnológico, para verificar los principales usos del suelo y el grado de hemerobia en la microcuenca Santa Maria do Leme, en el interior del Estado de São Paulo. Para ello, se realizaron seis campañas de muestreo para medir las variables limnológicas en 2020, identificando los principales usos y cobertura del suelo con el encuadre de clases encontradas en diferentes grados de hemerobia, permitiendo la verificación de la naturalidad del paisaje. Se verificó la influencia de la estacionalidad y escorrentía sobre las variables limnológicas, debido a la formación de distintos grupos en el diagrama de dispersión del Análisis de Componentes Principales. En la microcuenca predominan las áreas urbanizadas (30,47%) y las áreas de cultivo (25,16%), con áreas de vegetación nativa correspondientes al 15,41% del territorio y concentradas en áreas de preservación permanente. El paisaje está marcado por un alto grado de artificialidad (84,34%) e interferencia antropogénica, situación que se refleja en los grados de hemerobia (áreas mesohemerobióticas, eumerobióticas, polihemerobióticas y metahemerobióticas). A pesar de tener una alta dependencia antropogénica, los elementos naturales existentes son de gran importancia para el mantenimiento de los cuerpos de agua y de las funciones ambientales.

Palabras clave: Ecología acuática. Naturalidad. Gestión ambiental.

1 Introdução

As paisagens têm sido influenciadas pelo desenvolvimento das atividades humanas (e.g. industrialização, urbanização, agronegócio) que comprometem a sua naturalidade, situação que vem contribuindo para a perda de estabilidade dos ecossistemas naturais (SUCHARA, 2018). Neste contexto, emergem dois conceitos importantes: paisagem e naturalidade. A paisagem consiste em um mosaico de manchas, resultante da interação instável e indissociável de elementos (a)bióticos e antropogênicos e é marcada por seu caráter dinâmico e pela complexidade dos processos que ali ocorrem (BERTRAND; TRICART, 1968; URBAN; O'NEILL; SGUGART JR., 1987). Quando a estrutura e as funções de uma paisagem (natural) garantem manutenção dos processos de autorregulação, a paisagem está próxima do seu estado natural e maior será a sua naturalidade (TVEIT; ODE; FRY, 2007), ou seja, o quanto ela não foi modificada ou transformada pela ação antropogênica.

O processo de urbanização ocasionando uma série de alterações, em especial, tem desencadeado a conversão de ecossistemas em áreas artificializadas, situação que reduz a naturalidade da paisagem, ou seja, compromete a sua capacidade de autorregulação e assim, para se manter, são necessárias ações de planejamento (VAN VILLET; EITELBERG; VERBURG, 2017) para minimizar os impactos negativos sobre os sistemas naturais, principalmente no que se refere aos sistemas dulcícolas interiores.

Como reflexo das alterações antropogênicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas, os corpos hídricos interiores (e.g. rios, córregos, riachos) sofrem perda de qualidade da água em função dos usos e cobertura da terra e da integralidade da vegetação marginal (TANAKA et al., 2016). Ademais, a largura das faixas de vegetação marginal é fundamental para a manutenção dos processos de autorregulação dos ecossistemas aquáticos, pois possui relação direta com a capacidade destes sistemas reterem compostos/substâncias advindas da área de drenagem da bacia hidrográfica, fator que interfere diretamente nas concentrações e alterações das variáveis limnológicas (VALERA et al., 2019).

Notoriamente, o comprometimento da integridade das bacias hidrográficas implica na desregulação das funções ecológicas e alteração das variáveis limnológicas. A integridade de uma bacia hidrográfica pode ser entendida como a capacidade da bacia hidrográfica suportar e manter uma ampla gama de processos ecológicos e funções essenciais para a sustentabilidade da biodiversidade, dos recursos e serviços fornecidos para a sociedade (FLOTMERSCH et al., 2016). Investigações têm demonstrado que a naturalidade e o grau de artificialidade nas bacias hidrográficas influenciam na qualidade da água de corpos hídricos interiores com base em análises limnológicas e na hierarquização da paisagem por graus hemerobia, que é um indicador do estado de conservação e antropização da paisagem (e.g. SILVA et al., 2017; FERREIRA et al., 2018). A hemerobia é uma medida que reflete o grau de intervenção antropogênica sobre a paisagem, dada a classificação da naturalidade baseada nos usos da terra e a capacidade de regulação dos elementos naturais e artificiais (SUKOPP, 1976; WALZ; STEIN, 2014).

Sendo assim, uma avaliação pautada em análises limnológicas e na condição de naturalidade da paisagem, com o uso e cobertura da terra na bacia de drenagem contribuem para a verificação da interferência antropogênica nesse sistema e gera informações úteis ao planejamento ambiental e na adoção de medidas de manejo. Por sua vez, ressalta-se o papel desempenhado pelos sistemas naturais nas bacias hidrográficas, tais elementos são responsáveis pelo fornecimento de uma série de benefícios para a sociedade e sustentam diversos processos ecológicos (FUSHITA et al., 2016).

Diante do exposto e frente a influência do processo de urbanização, o presente teve como objetivo realizar um estudo limnológico, verificar os principais usos da terra e o grau de hemerobia da microbacia do córrego do Santa Maria do Leme, localizada no interior do Estado de São Paulo. A princípio, acredita-se que a sazonalidade exerce uma forte influência sobre o córrego, mas apesar do predomínio de áreas culturais e dependência tecnológica, os elementos naturais remanescentes ainda exercem funções ambientais que contribuem para a manutenção dos ambientes aquáticos.

2 Material e Métodos

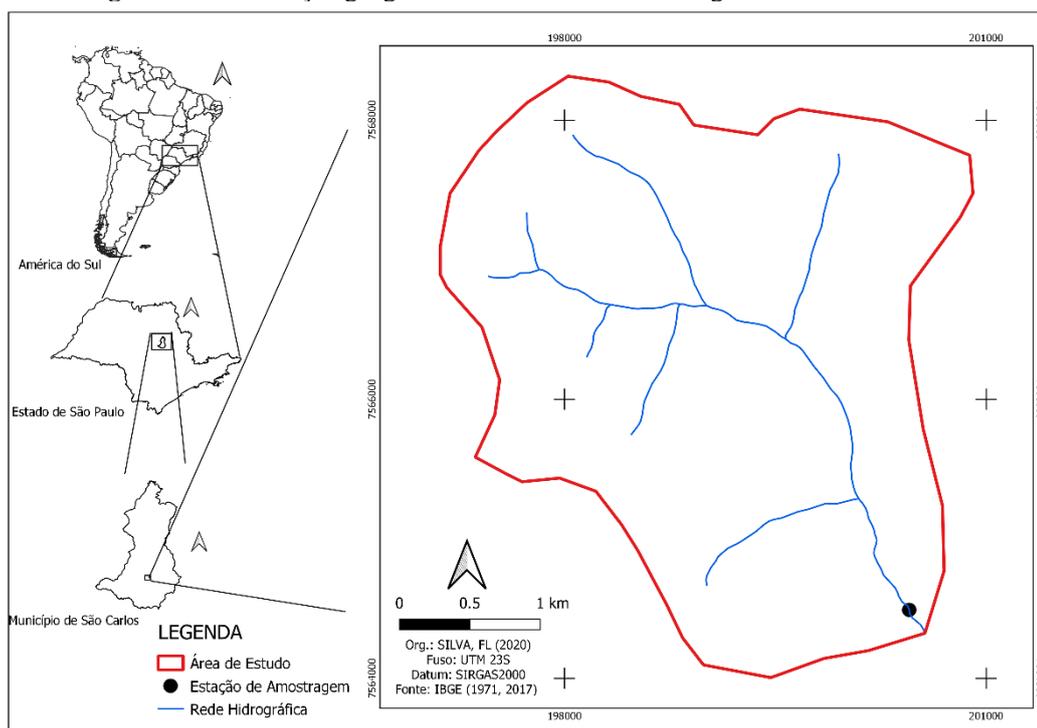
2.1. Área de Estudo

A microbacia hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme está inserida na bacia hidrográfica do rio Monjolinho no município de São Carlos (SP), região pertencente a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tietê-Jacaré (UGRHI 13). A área de estudo fica localizada na porção noroeste da área urbanizada de São Carlos (SP), possui uma área de 1.331,60 hectares (ha) e o principal afluente é o córrego do Santa Maria do Leme, um corpo hídrico de 2ª ordem, cuja extensão é de 4,75 km.

A paisagem da microbacia é marcada pela existência de fragmentos de vegetação nativa, bosques e áreas de vegetação permanente conectados ao principal afluente, todavia, verifica-se a existência de uma pressão voltada para a urbanização da microbacia, situação que tem se consolidado no planejamento territorial (PEREZ et al., 2018). Destaca-se que a nascente do córrego da Santa Maria do Leme nasce na região rural, posteriormente recebe tributários menores e inseridos em áreas urbanas e rurais, até desaguar no rio Monjolinho. Predominam na microbacia áreas destinadas ao desenvolvimento do agronegócio e áreas urbanizadas (ANJINHO et al., 2018).

Ademais, o clima da região é do tipo Cwa (clima quente com inverno seco), conforme classificação de Köppen (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2020), tal clima é marcado pela existência de dois períodos climáticos bem definidas, sendo uma estação seca (abril a setembro) e outra chuvosa (outubro a março). A microbacia está inserida em uma região de cerrado, a área começou a ser ocupada em 1960 por fazendas e pastagens, já em 1970 iniciou-se o processo de urbanização da microbacia (SANTOS; MOREIRA; ROCHA, 2013).

Figura 1 – Localização geográfica da microbacia do córrego Santa Maria do Leme



Org.: Elaborado pelos autores

2.2. Amostragem de Água e Valores de Referência

As coletas de amostras de água foram realizadas durante o ano de 2020, de modo a contemplar duas estações climáticas (i.e. seca e cheia). Se tratando do período chuvoso, as coletas foram realizadas nos meses de janeiro, fevereiro e março. Por sua vez, as amostragens no período de estiagem ocorreram nos meses de abril, maio e junho. Destaca-se que, as amostragens foram conduzidas no final de cada mês, sempre durante o período da manhã, entre às 9h00min e 10h00min, próximo a desembocadura do córrego no rio Monjolinho, região marcada pela presença de comércios e residências domiciliares. A área foi selecionada com o intuito de verificar os reflexos dos processos que ocorrem em toda a área de drenagem da microbacia. A coleta foi realizada em triplicata, com o auxílio de garrafas de polipropileno.

As seguintes variáveis foram mensuradas: (i) condutividade elétrica - CE; (ii) sólidos totais dissolvidos - STD; (iii) pH; (iv) oxigênio dissolvido - OD; (v) turbidez; (vi) demanda bioquímica de oxigênio - $DBO_{5,20}$; (vii) temperatura da água - $T_{\text{água}}$; (viii) temperatura do ar - T_{ar} , e (viii) turbidez. Em relação aos métodos analíticos, foi utilizado uma sonda multiparâmetro (HORIBA U-10), um termômetro de mercúrio para mensuração da temperatura e adotou-se o método polarográfico (APHA; AWWA; WPCF, 1998) para determinação da $DBO_{5,20}$. Ademais,

obteve-se a precipitação nas últimas 24 horas (Prec_{24h}) na base do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).

Com o intuito de verificar eventuais não conformidades limnológicas, foi adotada a Resolução CONAMA 357/05. Este dispositivo normativo estabelece valores orientadores para a manutenção da qualidade da água em território nacional. Conforme legislação estadual (Decretos 8.468/76 e 10.755/77), o Córrego Santa Maria do Leme é enquadrado na Classe II, ou seja, a qualidade das águas deve propiciar os usos múltiplos da água.

2.3. Usos e cobertura da terra

Os usos e cobertura da terra para a área de estudo foram obtidos a partir da digitalização em tela de uma imagem de satélite CBERS 4 (órbita: 156/ponto: 125, datada de 02 de julho de 2020), com resolução de 10 metros, fornecida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para tanto, foi realizada uma composição multispectral das imagens de satélite (3R4G2B). O processamento da imagem, o georreferenciamento e a elaboração dos planos de informações foram realizados no software ArcMap 10.2, adotando-se o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 23 Sul e o Datum SIRGAS2000. O Manual de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) foi utilizado para a classificação dos usos e cobertura da terra, adotando-se os seguintes níveis hierárquicos (Quadro 1): (i) classe - principais categorias dos usos e cobertura da terra e (ii) tipologia - usos e cobertura da terra com maior detalhamento.

Quadro 1 – Descrição das tipologias de usos da terra e suas respectivas classes

Classes	Tipologias	Descrição
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Área Urbanizada	Áreas caracterizadas pelo adensamento urbano, incluindo condomínios e edificações
	Malha Viária	Corresponde as rodovias e vias de acesso utilizadas para transição
	Infraestrutura Rural	Equivalem a obras e construções feitas em propriedades rurais
Áreas Antrópicas Agrícolas	Lavoura Temporária	Áreas de cultura, principalmente cana-de-açúcar, marcadas pelo plantio de curta duração
	Pastagem	Áreas voltadas para a pecuária e marcadas pelo predomínio de vegetação herbácea
Área de Vegetação Natural	Campestre	Áreas de cerrado desmatadas, são ocupadas principalmente por arbustos e gramíneas
	Vegetação Nativa	Formações vegetais arbóreas, correspondente a fitofisionomias de cerrado e Floresta Estacional Semidecidual
Água	Represas	Represamento de corpos hídricos lóticos
Outras Áreas	Área Descoberta	Áreas marcadas pela remoção da cobertura vegetal, podendo ser utilizadas para fins agrícolas ou adensamento urbano

Org.: Elaborado pelos autores

2.4. Naturalidade da paisagem

A hemerobia foi o indicador selecionado para fins de avaliação da naturalidade da microbacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme. Sendo assim, adotou-se um gradiente de influência antropogênica composto por seis categorias de classificação, comumente empregadas na literatura (Quadro 2). As tipologias de uso e cobertura da terra foram enquadradas em um dos graus de hemerobia, situação que ocorreu mediante a influência antropogênica e grau de naturalidade. No software ArcMap 10.2, ocorreu a reclassificação dos usos e cobertura da terra e a elaboração da carta temática de hemerobia.

Quadro 2 - Graus de hemerobia, naturalidade e sua respectiva descrição

Graus	Grau de Naturalidade	Descrição
Ahemerobiótico	Natural	Sistemas naturais com nenhuma ou mínima alteração (e.g. influência de processos globais), com grande capacidade de autorregulação e com baixíssima ou nenhuma interferência antropogênica e dependência tecnológica
Oligohemerobiótico	Próximo ao Natural	Sistemas similares a descrição anterior, os ecossistemas possuem a estrutura e funcionamento esperados, porém com maior grau de interferência antropogênica e dependência tecnológica
Mesohemerobiótico	Semi-Natural	Sistemas onde os ecossistemas naturais característicos não ocorrem mais, foram modificados e se tornaram novos ecossistemas devido a interferência antropogênica, é caracterizada por uma artificialização parcial, apresenta baixa dependência tecnológica e uma limitada capacidade de autorregulação
Euhemerobiótico	Alterado	Sistemas modificados e caracterizados pelo domínio de atividades agropecuárias, bem como uma forte dependência tecnológica e necessita de manejo, apresenta uma moderada a forte interferência antropogênica e baixa capacidade de autorregulação
Polihermerobiótico	Cultural	Sistemas que englobam sítios de mineração, áreas peri-urbanas e de transição (rural-urbano), marcados pela redução dos elementos naturais, além de uma forte dependência de manejo, uma alta interferência antropogênica e dependência energética
Metahemerobiótico	Artificial	Sistemas artificiais com selamento do solo superior a 30%, criados totalmente pelos humanos e dependente do seu manejo, estão sob forte interferência antropogênica e possuem uma completa destruição das biocenoses, além de uma alta dependência tecnológica

Fonte: Blume & Sukopp (1976), Habber (1990), Rüdissler, Tasser, Tappeiner (2012), Walz & Stein (2014). Adaptado pelos autores.

2.4. Análises Estatísticas

Buscando realizar uma comparação das variáveis limnológicas em função do período hidrológico, conduziu-se uma Análise de Componentes Principais (ACP) em linguagem R (R CORE TIME, 2018). Destaca-se que uma análise de correlação do qui-quadrado de Pearson

entre as variáveis limnológicas, também, foi realizada. Ademais, os valores médios e o desvio-padrão de cada variável também foram obtidos.

3 Resultados e Discussão

As variáveis limnológicas sofrem influência direta dos usos e cobertura da terra, dependendo das condições da vegetação que exerce o efeito de tamponamento e do grau de urbanização, maiores alterações podem ser evidenciadas nas variáveis limnológicas, haja vista a entrada e o carreamento de substâncias nos ambientes aquáticos. Dessa forma, adotou-se como premissa deste trabalho que quanto maior a naturalidade da bacia hidrográfica, menor serão as alterações das variáveis limnológicas.

Na Tabela 1 estão apresentados os dados obtidos para as variáveis limnológicas das campanhas conduzidas no córrego Santa Maria do Leme. A ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas somente foi registrada durante os meses fevereiro e março. Ainda em relação a precipitação, o maior valor foi verificado durante a segunda campanha amostral, sendo cerca de três vezes maior ao registrado para o mês de março.

Tabela 1 - Valores médios e desvio-padrão (DP) obtidos para as variáveis limnológicas do córrego Santa Maria do Leme e dados sobre a precipitação acumulada (24h) durante as campanhas amostrais no ano de 2020.

Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Chuva	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
CE	52,10	68,77	56,30	66,33	59,07	65,43
(μ S/cm)	(0,50)	(7,43)	(1,35)	(1,39)	(0,38)	(0,65)
DBO _{5,20}	4,06	4,82	5,82	5,37	7,08	7,72
(mg/L)	(2,58)	(2,35)	(2,24)	(1,98)	(2,09)	(0,12)
OD	7,98	7,83	9,08	8,31	10,70	9,31
(mg/L)	(0,31)	(0,15)	(0,05)	(0,06)	(0,23)	(0,16)
pH	4,87	5,10	5,30	5,52	5,14	5,29
	(0,03)	(0,37)	(0,22)	(0,27)	(0,27)	(0,25)
Prec _{24h} (mm)	0	5,2	1,8	0	0	0
STD	16,54	16,57	12,66	16,05	13,56	15,67
(mg/L)	(0,22)	(2,36)	(0,46)	(0,59)	(0,11)	(0,18)
T _{água} (° C)	30	23	23	23	19	21
T _{ar} (° C)	24	22	22	22	16	19
Turbidez	7,67	16,33	6,67	3	2	2,67
(UNT)	(0,58)	(0,58)	(0,57)	(0)	(0)	(0,58)

Org.: Elaborado pelos autores.

Os maiores valores de CE foram registrados durante o período de estiagem, com exceção da segunda campanha amostral, cuja concentração possivelmente foi influenciada pela entrada

de substâncias (e.g. material particulado) no córrego do Santa Maria do Leme. Quanto ao período de estiagem, houve um menor volume de água no sistema, fator que diminui o efeito diluidor das cargas presentes no córrego. Em se tratando dos STD, os maiores valores foram registrados durante o período chuvoso, situação possivelmente atrelada a entrada de materiais/substâncias no ambiente aquático. Ferreira & Cunha-Santino (2014) verificaram em uma avaliação conduzida em diferentes trechos do rio Monjolinho que durante o período chuvoso ocorre a entrada de matéria e mistura do sedimento, o que implica nos maiores valores observados.

Menores concentrações de OD foram verificadas no período chuvoso (salvo o mês de março), ao passo que no período de estiagem verificou-se as maiores concentrações desta variável. Uma situação semelhante foi constatada para as concentrações de $DBO_{5,20}$, foi possível verificar que os valores de abril a junho estão em não conformidade com a Resolução CONAMA 357/05, visto que as concentrações máximas permitidas para $DBO_{5,20}$ em corpos de classe 2 (classe de enquadramento do córrego Santa Maria do Leme) corresponde a 5 mg/L. Silva et al. (2017) verificaram padrões semelhantes aos verificados para o OD e $DBO_{5,20}$ em um corpo hídrico urbano no município de São Carlos (córrego do Mineirinho), os autores relacionaram tal situação ao volume de água no sistema, fluxo do ambiente hídrico, reaeração, interferência antropogênica e destacaram a menor solubilidade do OD, nos casos de temperaturas mais elevadas. Tanaka et al. (2016) verificaram que ambientes lóticos com vegetação marginal preservada tendem a apresentar maiores concentrações de OD em relação aos ambientes impactados. Salienta-se que, tal situação contribuiu para a entrada de matéria orgânica no sistema, e conseqüentemente resulta no aumento das concentrações de $DBO_{5,20}$. Ademais, a degradação do material vegetal oriundo da vegetação marginal do Córrego Santa Maria do Leme também contribui para o aumento dos valores de $DBO_{5,20}$.

Em relação ao pH, verificou-se que os valores variaram entre 4,06 e 5,53, indicando que o meio pode ser considerado ácido em ambas as estações climáticas. Santos, Moreira e Rocha (2013), durante uma amostragem conduzida no córrego Santa Maria do Leme também constataram valores de pH abaixo de 6, relacionaram tal situação à presença de ácidos húmicos nas águas. Nas áreas de cerrado é comum observar o predomínio de latossolos, solos que são considerados ácidos (SANTIAGO; CUNHA-SANTINO, 2014) e podem refletir a influência da litologia local sobre os ambientes aquáticos.

De maneira geral, os menores valores de temperatura, tanto para a água como para o ar, foram registrados durante o período de estiagem, situação possivelmente atrelada ao regime climático da área de estudo. Igualmente, a temperatura de ambientes aquáticos foi influenciada

pela profundidade e pelas condições físicas (presença de espécies ruderais, conectividade longitudinal) da zona ripária.

Grieco et al. (2017) utilizando uma avaliação limnológica do córrego do Tanquinho (Ribeirão Preto-SP), verificaram que os valores de turbidez aumentaram em função do material em suspensão e cargas provenientes do escoamento superficial. Notavelmente, esta situação foi evidenciada no presente estudo, dado que os maiores valores de turbidez foram registrados durante o período chuvoso, especialmente nas campanhas em que houve o registro da ocorrência de chuvas, visto a entrada de materiais oriundo das áreas com atividades antropogênicas no sistema.

Conforme evidenciado na Tabela 2, correlações de Pearson significativas (p -valor: 0,05) foram encontradas entre as variáveis limnológicas. Notavelmente, a maioria das correlações significativas foram negativas, somente duas correlações positivas foram observadas. Dentre as correlações negativas, constatou-se: STD e OD, $T_{\text{água}}$ e OD, T_{ar} e OD, além de turbidez e OD. Por outro lado, as correlações positivas foram verificadas entre turbidez e $\text{Prec}_{24\text{h}}$, bem como T_{ar} e $T_{\text{água}}$. Grande parte das correlações observadas se devem a influência da precipitação e escoamento superficial na bacia hidrográfica.

As correlações observadas estiveram associadas com a influência da sazonalidade (i.e. temperaturas e pluviosidade), além do escoamento superficial e a entrada de compostos nos ambientes aquáticos, que influenciam no aumento da turbidez e redução dos valores de OD. Medeiros et al. (2017) verificaram correlações negativas entre variáveis limnológicas (turbidez e OD, STD e OD) na avaliação de uma microbacia urbana no interior do Estado de São Paulo, relacionaram tal situação a influência dos usos e cobertura da terra e interferência antropogênica.

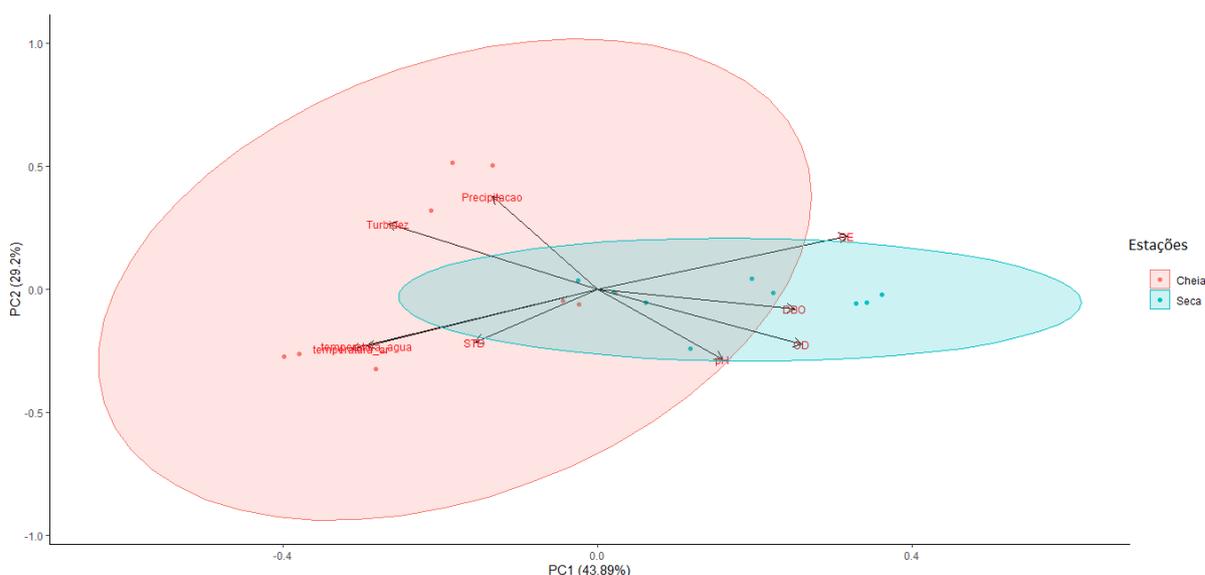
Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Pearson.

	CE	DBO	OD	pH	$\text{Prec}_{24\text{h}}$	STD	$T_{\text{água}}$	T_{ar}
DBO _{5,20}	0,1							
OD	-0,22	0,51						
pH	0,29	-0,03	0,12					
$\text{Prec}_{24\text{h}}$	0,45	-0,21	-0,44	-0,11				
STD	0,46	-0,22	-0,65	-0,25	0,14			
$T_{\text{água}}$	-0,07	-0,51	-0,91	-0,09	0,25	0,41		
T_{ar}	-0,28	-0,53	-0,82	-0,26	0,07	0,44	0,94	
Turbidez	0,27	-0,39	-0,66	-0,30	0,92	0,36	0,49	0,4

Valores em negrito indicam $P < 0,05$. Org.: Elaborado pelos autores.

No diagrama de dispersão da ACP (Figura 2), observou-se a dispersão das variáveis limnológicas entre os períodos hidrológicos. Os eixos principais explicaram juntos 73,09% da variação observada. As variáveis turbidez, $PreC_{24h}$, T_{ar} , $T_{água}$ e STD demonstraram uma relação positiva entre si, assim como as variáveis CE, $DBO_{5,20}$, DO e pH. Em se tratando das campanhas amostrais, notou-se a formação de dois grupos distintos, sendo um correspondente ao período chuvoso, marcado pela relação existente entre as campanhas realizadas com as variáveis temperatura, turbidez e SDT. Por outro lado, observou-se um grupo correspondente as campanhas conduzidas na estiagem, destaque para a associação de campanhas com as variáveis CE, DBO, OD e pH. Devido a influência da sazonalidade e o escoamento superficial, variações ocorreram no sistema avaliado, devido a variação do volume de água e carreamento de substâncias/compostos, variações ocorrem entre as variáveis limnológicas.

Figura 2 – Análise de Componentes Principais para as variáveis limnológicas e pluviométricas obtidas

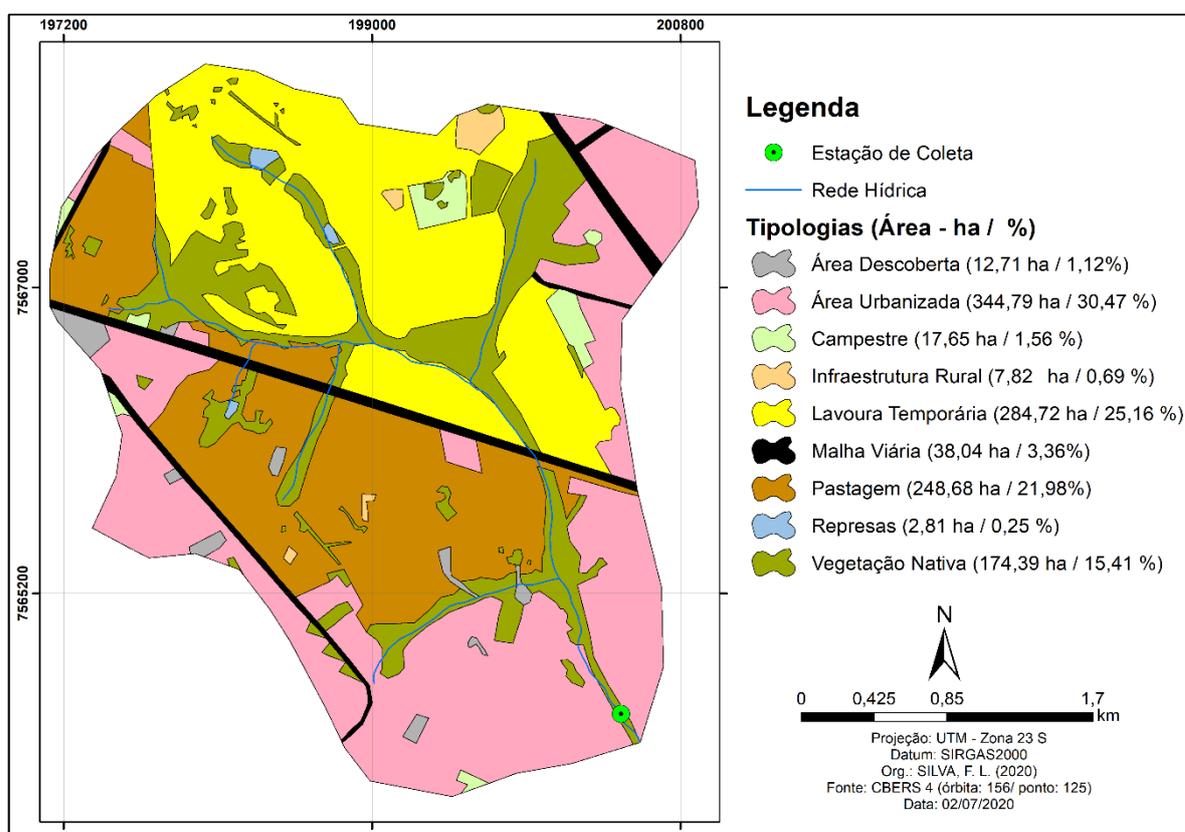


Org.: Elaborado pelos autores

Evidenciou-se pela carta temática de usos e cobertura da terra (Figura 3), que predominaram na área de estudo áreas urbanizadas e usos voltados ao agronegócio, que juntos equivalem a aproximadamente 82% da microbacia. Represas correspondem a tipologia ocupacional com a menor área (0,25%), estando localizadas principalmente próximas as nascentes, inseridas em propriedades rurais. As áreas de vegetação nativa remanescente somam quase 17% do território e encontraram-se distribuídas pela área ao redor dos corpos hídricos, além de alguns fragmentos existentes na área rural e na região urbana. A análise da

conformidade ambiental das áreas de preservação ambiental e reservas legais da microbacia do córrego do Santa Maria do Leme, Anjinho et al. (2018) identificaram que existem áreas em desacordo ao estabelecido pela legislação pertinente, porém reforçam que a vegetação remanescente possui características relevantes e necessitam de intervenções frente ao cenário de urbanização da microbacia. Destaca-se a existência de áreas campestres, localidades marcadas pela presença de formas herbáceas, que ocuparam áreas desmatadas, sendo a maior área encontrada em uma matriz de cana-de-açúcar, próximo a um fragmento florestal.

Figura 3 – Usos e cobertura da terra para a microbacia do córrego do Santa Maria do Leme

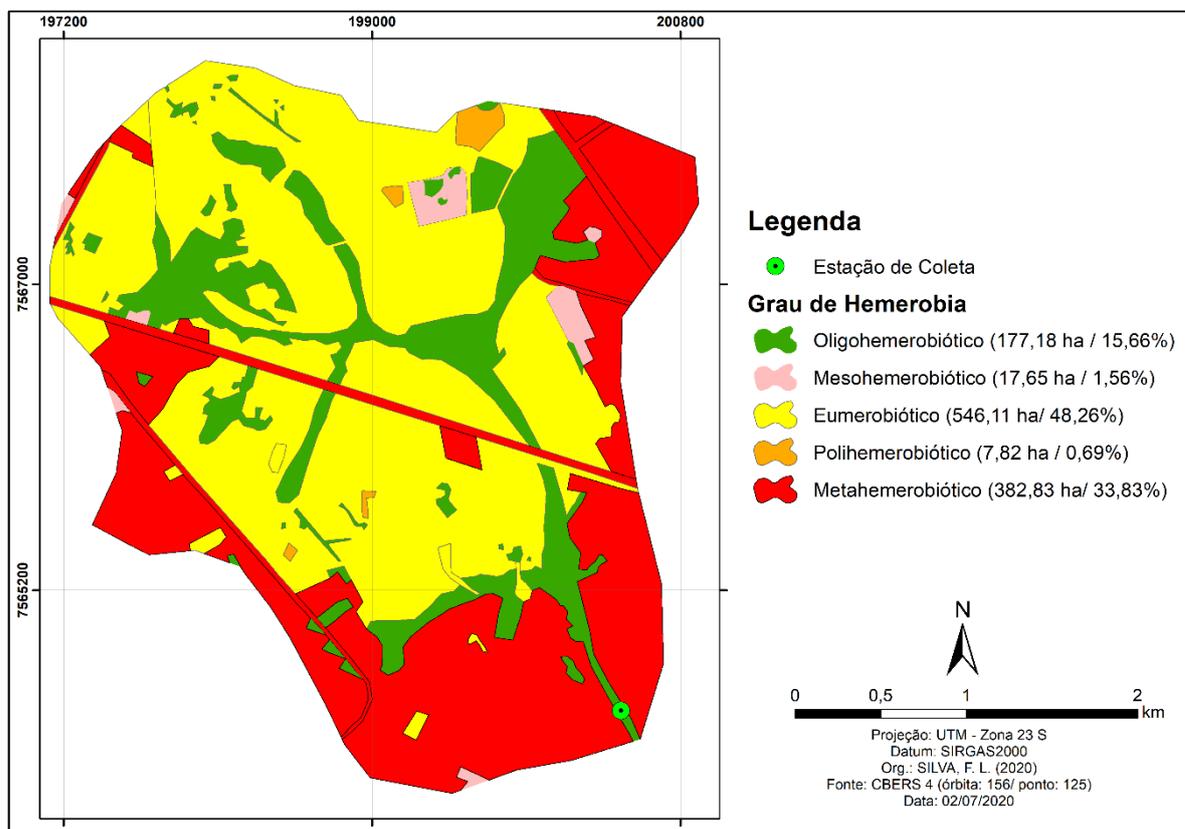


Org.: Elaborado pelos autores

A hemerobia é capaz de refletir a perda de qualidade ambiental de um corpo hídrico, quanto maior a alteração antropogênica, maior é a degradação observada nos ecossistemas aquáticos (TESTI et al., 2009; SILVA et al., 2017; SEMIUN; RETNANINGDYAH; ARISOESILANINGSIH, 2020; RETNANINGDYAH et al., 2021). No presente estudo, foram constatadas na área de estudo usos da terra predominantemente antropogênicos, logo é preciso verificar as relações existentes entre a naturalidade da paisagem e as variáveis limnológicas.

A área de estudo foi marcada por ser uma paisagem principalmente artificial (84.34% da área de drenagem), visto o predomínio de áreas caracterizadas pela interferência antropogênica, dependência tecnológica, baixa capacidade de regulação e dependência de manejo (i.e. áreas mesohemerobióticas, eumerobióticas, polihemerobióticas e metahemerobióticas). Vegetação nativa e represas são as áreas mais próximas ao natural na microbacia (oligohemerobiótico) e, são os sistemas que possuem a menor interferência antropogênica. Por outro lado, as tipologias área urbanizada e malha viária são os sistemas com maior artificialidade (metahemerobiótico), visto o alto grau de selamento do solo, intensa interferência antropogênica, grande dependência tecnológica e a perda das biocenoses. Pastagens, lavoura temporária e áreas descobertas foram enquadradas como eumerobiótico, grau de hemerobia com maior área (33,83%) e marcado pela dependência tecnológica e do manejo antropogênico, da mesma forma como possuem baixa capacidade de autorregulação. Polihemerobiótico corresponde à infraestrutura rural, caracterizada pela interferência antropogênica e o caráter transitório rural-urbano. Por fim, a tipologia campestre foi classificada como mesohemerobiótico, em função da modificação que sofreu e da tendência de artificialização, bem como maior dependência tecnológica e influência antropogênica.

Figura 4 – Graus de hemerobia para a microbacia do córrego do Santa Maria do Leme



Org.: Elaborado pelos autores

Os graus de hemerobia com maior interferência humana favorecem as alterações nas variáveis limnológicas, as áreas com maior naturalidade contribuem para a regulação das atividades antropogênicas (FERREIRA et al., 2018). Tal situação decorre devido ao fato de que os graus de hemerobia em direção ao artificial indicam menor complexidade da paisagem e maior interferência antropogênica, o que leva a maior ocorrência de distúrbios (e.g. alteração da qualidade da água) em função da menor biodiversidade e maior reflexo das consequências ecológicas, como (STEINHARDT et al., 1999; FEHRENBACH et al., 2015): (i) entrada de poluentes e contaminantes; (ii) alteração do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas; (iii) perda de serviços ecossistêmicos; e (iv) menor capacidade de resiliência. Deste modo, o aumento da naturalidade da paisagem por meio da recuperação da vegetação nativa contribui para a redução da interferência antropogênica (KIEDRZYŃSKI et al., 2014), já que os maiores graus de hemerobia ocasionam desregulações em pontos distintos das bacias hidrográficas e afetam a área como um todo (e.g. SILVA et al., 2017; FERREIRA et al., 2018).

Apesar de que uma área de influência com vegetação marginal entre 10 e 50 m de largura não garantem a proteção dos recursos hídricos devido ao comprometimento de sua função ambiental (VALERA et al., 2019), é preciso salientar que os ambientes naturais são provedores de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos para a sociedade (FUSHITA et al., 2016). A manutenção da saúde de bacias hidrográficas é de vital importância para a continuidade dos processos e funções ecológicas, tal situação torna-se possível mediante a manutenção da integridade (FLOTEMERSCH et al., 2016).

O uso excessivo dos benefícios proporcionados pelos elementos naturais e o aumento dos efeitos adversos das atividades antropogênicas acarretam em um aumento da pressão sobre os ecossistemas naturais (SUCHARA, 2018). Desta forma, reforça-se a necessidade de manutenção das áreas naturais na microbacia do córrego do Santa Maria do Leme, no sentido de evitar os efeitos adversos sobre os ecossistemas aquáticos e alterações das variáveis limnológicas, situação que tende a contribuir em um cenário de intensificação da urbanização na área de estudo e degradação dos corpos hídricos, reduzindo o efeito exercido pelo escoamento superficial devido a capacidade de tamponamento. Deve-se manter a homeostase da área de estudo, através de ações que visem a manutenção de sua integridade, tais como: (i) implementação de sistemas de drenagem urbana sustentável; (ii) manutenção das áreas permeáveis; (iii) incremento das áreas de proteção permanente; (iv) implementação de práticas sustentáveis nas áreas agrícolas; e (v) controle da expansão urbana na microbacia.

3 Conclusão

As variáveis limnológicas do córrego do Santa Maria do Leme foram influenciadas pela sazonalidade, destaca-se que a grande antropização da paisagem contribuiu para a redução do efeito de tamponamento exercido pela vegetação nativa, o que possivelmente acarretou nas variações observadas entre os períodos de chuva e estiagem. A situação observada demonstrou que a microbacia é predominantemente cultural e possui uma alta dependência antropogênica, apesar disto, os elementos naturais existentes são importantes para a manutenção de funções ambientais e manutenção dos corpos hídricos, visto que a variabilidade observada foi associada principalmente a sazonalidade e escoamento superficial. A verificação de variáveis limnológicas, a identificação de usos e cobertura da terra e os graus de hemerobia auxiliam no entendimento dos processos que ocorrem em uma microbacia, situação que fornece bases para a gestão ambiental, como o ordenamento territorial e áreas prioritárias para a recuperação da vegetação nativa. Recomenda-se a manutenção dos espaços naturais, a recuperação da vegetação nativa em todas as áreas legalmente protegidas (reservas legais, áreas de proteção permanente) e o uso e manejo sustentável da microbacia, ações que favorecem a proteção dos recursos naturais e provisão de serviços ecossistêmicos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo auxílio fornecido.

Referências

ANJINHO, P. S.; CAMPOS, L. G.; MAUAD, F.; HANAI, F. Y. Análise da conformidade ambiental das áreas protegidas da microbacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme, São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 7, p. 2412-2426, 2018.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION); AWWA; WPCF. **American Water Works Association and Water Pollution Control Federation Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington D.C., 1998. 1193p.

BERTRAND, G.; TRICART, J. Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen**, v. 39, p. 249-272, 1968.

BLUME, H. P.; SUKOPP, H. Ecological significance of anthropogenic soil changes. **Schriftenreihe fur Vegetationskunde**, v. 10, p. 75 - 89, 1976.

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. **Condições meteorológicas**. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/meteorologia/index.php?pg=caracterizacao>>. Acesso em: 17 de outubro de 2020.

FERREIRA, C. S.; CUNHA-SANTINO, M. B. Monitoramento da qualidade da água do rio Monjolinho: a limnologia como uma ferramenta para a gestão ambiental. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 6, n. 1, p., 2014.

FERREIRA, C. S.; SILVA, F. L.; MOITAS, M. L.; FUSHITA, A. T.; BIANCHINI, I.; CUNHA-SANTINO, M. B. River Monjolinho Watershed: water quality, sediment and Hemeroby Index. **AMBIÊNCIA**, v. 14, n. 3, p. 522–538, 2018.

FEHRENBACH, H.; GRAHL, B.; GIEGRICH, J.; BUSCH, M. Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. **Land Use in LCA**, v. 20, p. 1511-1527, 2015.

FLOTEMERSCH, J. S.; LEIBOWITZ, S. G.; HILL, R. A.; STODDARD, J. L.; THOMS, M. C.; THARME, R. E. A Watershed Integrity Definition and Assessment Approach to Support Strategic Management of Watersheds. **River Research and Applications**, v. 32, n. 7, p. 1654-1671, 2016.

FUSHITA, Â. T. et al. Landscape Structural Indicators as a Tool to Assess Land Use Changes in Planning for Sub-Basin Sustainability (Southeastern Brazil). **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 4, p. 720–726, 29 abr. 2016.

GRIECO, A. A.; FREGONESI, B. M.; TONANI, K. A. A.; SILVA, T. V.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I.; ALVES, R. I. S. Diagnóstico espacial e temporal de condições físico-químicas e microbiológicas do Córrego do Tanquinho, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 2, p. 282-298, 2017.

HABER, W. Using Landscape Ecology in Planning and Management. In: ZONNEVELD, I.S.; FORMAN, R.T.T. (Eds.) **Changing Landscapes: an ecological perspective**. New York: Springer-Verlag, 1990, 286p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra 2013**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 03 de agosto de 2020.

KIEDRZYŃSKI, M.; KIEDRZYŃSKA, E.; WITOSŁAWSKI, P.; URBANIAK, M.; KUROWSKI, J. K. Historical Land Use, Actual Vegetation, and the Hemeroby Levels in Ecological Evaluation of an Urban River Valley in Perspective of Its Rehabilitation Plan. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 23, n. 1, p. 109-117, 2014.

MEDEIROS, G. A.; TRESMONDI, A. C. C. L.; QUEIROZ, B. P. V.; FENGLER, F. H.; ROSA, A. H.; FIALHO, J. M.; LOPES, R. S.; NEGRO, C. V.; SANTOS, L. F.; RIBEIRO, A. I. Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. **Energy, Ecology and Environment**, v. 2, p. 259-276, 2017.

PERES, R. B.; FIGUEIREDO, A. N.; IARED, V. G.; MUNHOZ, P. A.; OLIVEIRA, H. T. Qualificação de áreas verdes na cidade de São Carlos (S.P.): análise de usos e propostas de gestão ambiental com foco na microbacia hidrográfica do córrego Santa Maria do Leme. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 158-182, 2018.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing (2018)**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 15 julho de 2020.

RETNANINGDYAH, C.; RIDLO, I. A.; FEBRIANSYAH, S. C.; NUSANTARA, O. B. Water quality evaluation of some mangrove ecosystems with variations of time restoration in South Malang, East Java, Indonesia. **Earth and Environmental Science**, v. 743, 012011, 2021.

RÜDISSER, J.; TASSER, E.; TAPPEINER, U. Distance to nature - a new biodiversity relevant environmental indicator set at the landscape level. **Ecological Indicators**, v. 15, p. 208-216, 2012.

SANTIAGO, C. D.; CUNHA-SANTINO, M. B. Avaliação preliminar da qualidade dos sedimentos de duas nascentes, córrego Espraiado e rio Monjolinho, São Carlos-SP. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 77-92, 2014.

SANTOS, R. M.; MOREIRA, R. A.; ROCHA, O. Composição e abundância do zooplâncton em um córrego urbano. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 3, p. 18-32, 2013.

SEMIUN, C. G.; RETNANINGDYAH, C.; ARISOESILANINGSIH, E. Structural modelling of riparian tree diversity and ecosystem degradation roles in determining the water quality of springs and its drains in East Java. **Journal of Degraded and Moning Lands Management**, v. 8, n. 1, p. 2431-2438, 2020.

SILVA, F. L.; SILVA, G. C.; FUSHITA, A. T.; BIANHINI JR, I.; CUNHA-SANTINO, M. B. Qualidade das águas e hemerobia da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1921-1933, 2017.

STEINHARDT, U.; HERZOG, F.; LAUSCH, A.; MÜLLER, E.; LEHMANN, S. Hemeroby index for landscape monitoring and evaluation. Hemeroby as an impact category indicator for the integration of land use into life cycle (impact) assessment. In: PYKH, Y. A.; HYATT, D. E.; LENZ, R. J. (eds). **Environmental Indices - System Analysis Approach**. 1. ed. Oxford: EOLSS Publ, 1999. p. 237-254.

SUCHARA, I. The Impact of Floods on the Structure and Functional Processes of Floodplain Ecosystems. **Journal of Soil and Plant Biology**, v. 1, p. 44-60, 2018.

TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T.; MOSCHINI, L. E.; LIVEIRA, A. K. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 333-339, 2016.

TESTI, A.; BISCEGLIE, S.; GUIDOTTI, S.; FANELLI, G. Detecting river environmental quality through plant and macroinvertebrate bioindicators in the Aniene River (Central Italy). **Aquatic Ecology**, v. 43, p. 477-486, 2008.

TVEIT, M.; ODE, A.; FRY, G. Key concepts in a framework for analyzing visual landscape character. **Landscape Research**, v. 31, n. 3, p. 229-255, 2007.

URBAN, D. L.; O'NEILL, R. V.; SHUGART JR, H. H. URBAN, D. L.; O'NEILL, R. V.; SHUGART JR, H. H. Landscape Ecology: a hierarchical perspective can help scientists to understand spatial patterns. **BioScience**, v. 37, n. 2, p. 119-127, 1987.

VALERA, C. A. et al. The Buffer Capacity of Riparian Vegetation to Control Water Quality in Anthropogenic Catchments from a Legally Protected Area: A Critical View over the Brazilian New Forest Code. **Water**, v. 11, n. 3, p. 549, 2019.

VAN VILLET, J.; EITELBERG, D. A.; VERBURG, P. H. A global analysis of land take in cropland areas and production displacement from urbanization. **Global Environmental Change**, v. 43, p. 107-115, 2017.

WALZ, U.; STEIN, C. Indicators of hemeroby for the monitoring of landscapes in Germany. **Journal for Nature Conservation**, v. 22, p. 279 - 289, 2014.