



AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA E ESTADO DE CONSERVAÇÃO DA VEGETAÇÃO RIPÁRIA DE UM RIACHO URBANO DE SÃO CARLOS (SP): APLICAÇÃO DE PROTOCOLOS DE AVALIAÇÃO RÁPIDA

Cecilia Loretti de Paiva, Universidade de São Paulo (USP), cecilialoretti@usp.br
João Miguel Mercedes Bega, USP, joaobega@usp.br
Karen Tavares Zambrano, USP, karenzambrano@usp.br
Davi Gasparini Fernandes Cunha, USP, davig@sc.usp.br

Resumo

A vegetação ripária desempenha importantes funções hidrológicas e ecológicas, constituindo uma interface entre sistemas aquáticos e terrestres que contribui para a manutenção da qualidade da água. Apesar disso, as zonas ripárias de rios urbanos têm sofrido um intenso processo de degradação. O presente trabalho avaliou os impactos antrópicos associados à estrutura e conservação da vegetação ripária do riacho urbano Santa Maria do Leme, em São Carlos (SP), nos períodos chuvoso e de estiagem. Foram aplicados dois Protocolos de Avaliação Rápida de Rios (PARs) para avaliar cinco transectos do riacho, juntamente com dois índices relacionados à composição da vegetação. O riacho foi classificado como “impactado” em ambos os protocolos, nos dois períodos avaliados. Observou-se maior preservação da margem esquerda, em relação à margem direita. A ausência de uma faixa adequada de mata ciliar foi identificada como um fator potencializador das perdas de solo, principalmente no período chuvoso, em transectos com predominância de gramíneas, serrapilheiras e solo exposto. A presença de bambus foi associada a menores indícios de feições erosivas, mas ressaltam-se os potenciais impactos negativos da introdução dessas espécies exóticas. A partir dos resultados deste trabalho, espera-se contribuir para o debate sobre recuperação e conservação de zonas ripárias urbanas.

Palavras-chave: bacia urbana; avaliação rápida; mata ciliar; zona ripária

1. Introdução

A expansão acelerada das cidades brasileiras na segunda metade do século passado provocou diversos impactos negativos sobre os ambientes aquáticos, causados, sobretudo, pelo planejamento ineficiente do uso e ocupação do solo e pela elevada geração de efluentes. Essas pressões antropogênicas e os impactos delas decorrentes afetam todos os ecossistemas aquáticos, mas os rios e riachos estão entre os ambientes mais prejudicados (Szymańska *et al.*, 2020). Cursos de água que drenam áreas urbanas são frequentemente afetados pela “síndrome do riacho urbano”, sendo alguns de seus “sintomas”: hidrogramas com picos mais elevados, maiores concentrações de nutrientes e contaminantes, morfologia alterada do canal e redução da diversidade de organismos aquáticos (Walsh *et al.*, 2005). Ademais, o processo de urbanização frequentemente leva à degradação da vegetação ripária, com consequente aumento da erosão das

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

margens e do transporte de poluentes para os cursos de água por meio do escoamento superficial, uma vez que esta vegetação atua como uma barreira natural de proteção contra a entrada de contaminantes (Righetto *et al.* 2017; Chua *et al.*, 2019).

A vegetação ripária (ou mata ciliar) refere-se à área de preservação permanente localizada na margem de rios e riachos e circundando suas nascentes (Brasil, 2012). Essas áreas desempenham importantes funções hidrológicas e ecológicas, pois representam uma região de interface entre sistemas aquáticos e terrestres ao longo dos cursos de água. Por conta dessas interações, funcionam como um mosaico paisagístico de diferentes formações fluviais vegetadas, fornecendo habitats para comunidades bióticas únicas que se beneficiam da elevada disponibilidade de água e nutrientes. Entre as funções que as matas ciliares desempenham, destacam-se o amortecimento de inundações, a filtragem da água, a ciclagem de nutrientes, a formação de corredores ecológicos, a proteção física das margens e o sombreamento dos cursos de água, bem como a influência nas entradas e saídas de matéria orgânica (González *et al.*, 2017).

Inúmeros estudos elucidaram a importância da vegetação ripária na redução do aporte de sedimentos em rios e riachos durante eventos chuvosos. Por exemplo, ao avaliarem o aporte de sedimentos em cursos de água brasileiros de uma mesma bacia hidrográfica com diferentes larguras de vegetação ripária, Martins *et al.* (2021) obtiveram o menor aporte nos rios e riachos com a maior largura da mata ciliar (cenários alternativos: 5, 8, 15 e 30 m). Dessa forma, compreender as interações entre os cursos de água e as zonas ripárias, considerando tanto a sua composição quanto a qualidade ambiental, apresenta uma importância significativa para a gestão dos recursos hídricos urbanos. Esse entendimento é especialmente relevante em regiões tropicais, onde os índices pluviométricos e as temperaturas são elevadas (Cunha *et al.*, 2022). Uma abordagem para a compreensão de tais interações trata-se do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR), ferramenta desenvolvida com o objetivo de auxiliar o monitoramento ambiental dos sistemas aquáticos, valendo-se de informações qualitativas para realizar um diagnóstico ambiental. No Brasil, o método é utilizado para avaliações do estado de conservação da zona ripária de Áreas de Proteção Ambiental (APPs) e baseia-se na checagem de parâmetros hidrogeomorfológicos e da vegetação (aquática e terrestre).

Principalmente nos países em desenvolvimento, a urbanização e o desenvolvimento econômico têm sido priorizados nas últimas décadas em detrimento da preservação ambiental, que é frequentemente negligenciada pelo poder público e pela sociedade (Çarkoğlu; Kentmen-Çin, 2015; Sheykhi, 2022). Isso se observa, por exemplo, pela aprovação do Projeto de Lei 2.510/2019 pela Câmara dos Deputados, em dezembro de 2021, que flexibiliza o desmatamento e as ocupações em APPs às margens de rios em áreas urbanas (Mendonça, 2019). Assim, é fundamental ampliar a compreensão sobre o papel das matas ciliares na manutenção da qualidade das águas urbanas, a fim de reforçar a importância de sua preservação. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, por meio da aplicação de dois PARs e índices



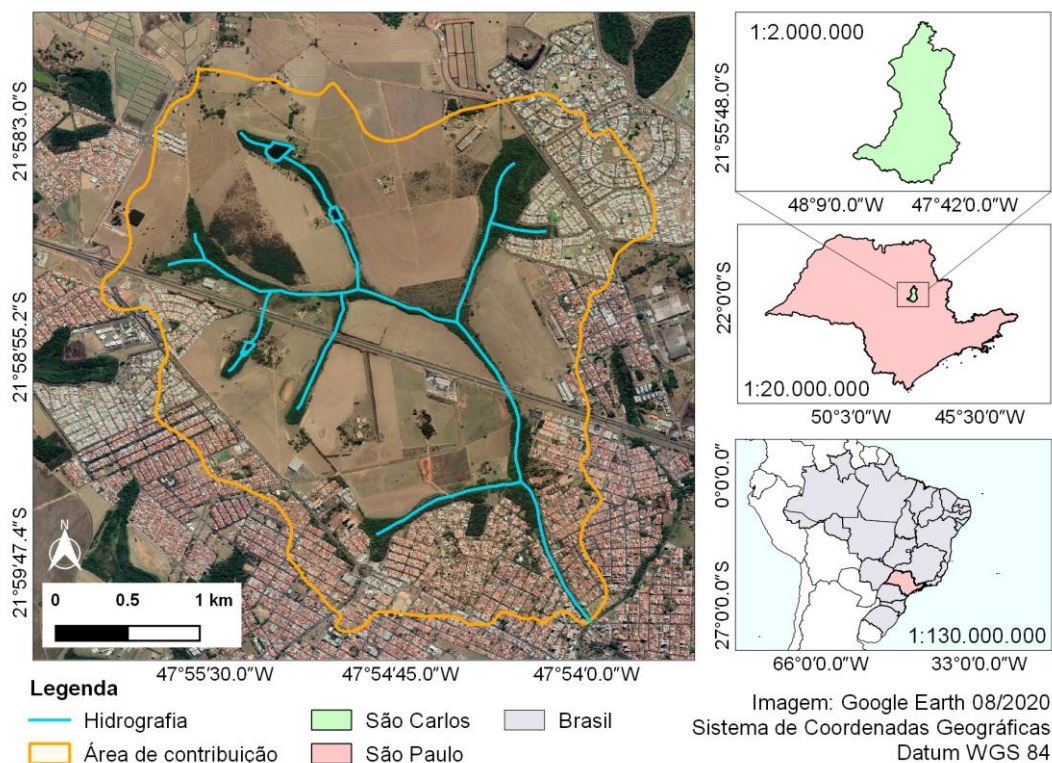
complementares, a estrutura e o estado de conservação da vegetação ripária de um riacho urbano localizado em São Carlos, no interior do estado de São Paulo.

2. Metodologia

2.1 Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no riacho Santa Maria do Leme, cuja bacia de contribuição possui uma área de 11,18 km², localizada na área urbana de São Carlos (SP) (Figura 1). O município possui cerca de 256.915 habitantes e área total de 1.136,91 km² (área urbana: 79,97 km²) (IBGE, 2022). O riacho está inserido, majoritariamente, em área de vegetação secundária típica do Cerrado e sua transição para a Mata Atlântica. A região apresenta relevo acentuado escarpado, característico da região geomorfológica das Cuestas Basálticas (IPT, 2015). A precipitação anual total é de aproximadamente 1500 mm, com verões chuvosos (média mensal > 150 mm) e invernos secos (< 70 mm) (Saltarelli *et al.*, 2018). De acordo com o sistema de classificação de Köppen-Geiger, o clima é mesotérmico úmido subtropical de inverno seco (Cwa), em que a temperatura média mensal do ar geralmente varia de 17 a 23°C (Kottek *et al.*, 2006).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do riacho Santa Maria do Leme



Fonte: Autores (2023)

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

A cidade de São Carlos (SP) está situada em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (UGRHI): Mogi-Guaçu (UGRHI 9) e Tietê- Jacaré (UGRHI 13). Toda a área urbana encontra-se na UGRHI 13, exceto os distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia e o condomínio Samambaia. O perímetro municipal abrange 10 bacias hidrográficas, sendo uma delas a do rio Monjolinho (79,6 km²), a principal do município. O rio Monjolinho recebe todo o esgoto tratado da cidade, serve como importante manancial de abastecimento público (captação Espreado) e deságua no rio Jacaré-Guaçu (Fava *et al.*, 2019). A bacia Santa Maria do Leme é contribuinte da bacia do Monjolinho e sua rede hidrográfica é composta pelo riacho principal Santa Maria do Leme (vazão de base < 200 L s⁻¹) e seis afluentes. O uso e ocupação do solo na bacia em estudo divide-se em urbano (34%), vegetação esparsa (55%) e vegetação densa (11%).

2.2 Métodos de avaliação da estrutura e conservação da vegetação ripária

Para avaliar a estrutura e a conservação da vegetação ripária do riacho Santa Maria do Leme foram utilizados dois PARs: (1) Barbosa *et al.* (2017), adaptado de Callisto *et al.* (2002); e (2) Espíndola (2022), adaptado de Hannaford *et al.* (1997) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 1987). O primeiro protocolo consiste na análise de oito indicadores, com quatro verificadores cada (Quadro 1). As pontuações possíveis para cada verificador são 0, 2, 3 ou 5. Os níveis de classificação são “trechos impactados” (0 - 20), “trechos alterados” (21 - 30) e “trechos naturais” (31 - 40). O segundo protocolo, por sua vez, é composto por dois grupos (Quadros 2 e 3). O primeiro grupo (Quadro 2) avalia as características de trechos da bacia e os níveis de impactos ambientais decorrentes de atividades antrópicas. Já o segundo grupo (Quadro 3) avalia as condições de habitats e níveis de conservação das condições naturais. Este PAR também avalia um conjunto de indicadores com verificadores. As pontuações possíveis para cada verificador no grupo 1 são 0, 2 ou 4, e no grupo 2 são 0, 2, 3 ou 5. A somatória dos valores atribuídos a cada indicador, de ambos os grupos, define o resultado final do PAR. As pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos trechos estudados, classificando-os como “impactado” (0 - 40), “alterado” (41 - 60) ou “natural” (> 60).

Quadro 1. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de rios 1

(continua)

Indicadores	Verificadores	Pontuação
1. Tipo de ocupação das margens do corpo de água (principal atividade)	Pastagens, monocultivos, solo exposto, edificações de uso comercial, industrial e residencial	0
	Manchas de vegetação herbácea e/ou gramíneas	2
	Reflorestamento apresentando estrato arbustivo-arbóreo	3
	Vegetação natural em estágio médio ou avançado de sucessão ecológica	5

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Quadro 1. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de rios 1

Indicadores	Verificadores	Pontuação
2. Alterações antrópicas	Alterações de origem industrial (fábricas, canalização, retificação do curso do rio ou afluente, barramentos e lançamento de efluentes e extração de minérios)	0
	Sistemas de captação de água de menor porte e lançamento de esgotos doméstico, lixo doméstico e a presença de canais de drenagem	2
	Alterações de origem domésticas de baixo impacto (Pontes e construção de poços comunitários para abastecimento d'água)	3
	Ausente	5
3. Erosão nas margens do rio	Acentuada (embaciamentos)	0
	Moderada (solapamentos eventuais)	2
	Estabilizada (controlada pela vegetação)	3
	Ausente	5
4. Odor da água	Óleo/Industrial (Ex.: vinhaça, torta de filtro)	0
	Esgoto (ovo podre)	2
	Presença de biomassa animal ou vegetal em decomposição na lâmina d'água	3
	Nenhum	5
5. Depósitos sedimentares	Depósitos aluviais no leito do rio (assoreamento)	0
	Depósitos aluviais nas margens do rio com vestígios de solapamento	2
	Depósitos aluviais extravasando as margens do rio sem vestígios de solapamento	3
	Depósitos aluviais nas margens do rio decorrentes do transporte natural dos sedimentos ou ausentes	5
6. Presença de plantas aquáticas	Presença de grandes bancos de macrófitas exóticas (e.g., aguapé)	0
	Ausência de vegetação aquática nativas no leito do rio	2
	Pequenas macrófitas aquáticas nativas e/ou musgos distribuídos pelo rio	3
	Presença de formações paludosas	5
7. Descontinuidade da vegetação ripária	Descontínua com a matriz impermeável (edificações)	0
	Descontínua com a matriz pouco permeável (monocultivos, pastagens e solo exposto)	2
	Descontínua com a matriz permeável (bosques exóticos e/ou cultivos diversificados)	3
	Contínua	5
8. Largura da vegetação ripária	Muito estreita ou ausente	0
	Menor que 15,0 m de largura	2
	Até 30,0 m de largura	3
	Superior a 50,0 m de largura	5

Fonte: Barbosa *et al.* (2017)

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Quadro 2. Protocolo de avaliação rápida da preservação de rios 2 (Grupo 1)

Indicadores	Verificadores	Pontuação
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação natural	4
	Campo de pastagem/Agricultura/ Monocultura/Reflorestamento	2
	Residencial/Comercial / Industrial	0
2. Erosão próxima e/ou nas margens do rio assoreamento em seu leito	Ausente	4
	Moderada	2
	Acentuada	0
3. Alterações antrópicas	Ausente	4
	Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)	2
	Alterações de origem industrial/urbana (fábricas, siderurgias, canalização, reutilização do rio)	0
4. Cobertura vegetal no leito	Total	4
	Parcial	2
	Ausente	0
5. Odor da água	Nenhum	4
	Esgoto (ovo podre)	2
	Óleo/ Industrial	0
6. Oleosidade da água	Transparente	4
	Moderada	2
	Abundante	0
7. Transparência da água	Transparente	4
	Turva/cor de chá forte	2
	Opaca ou colorida	0
8. Tipo de fundo	Pedras/cascalho	4
	Lama/areia	2
	Cimento/canalizado	0

Fonte: Espíndola (2022)

Quadro 3. Protocolo de avaliação rápida da preservação de rios 2 (Grupo 2)

(continua)

Indicadores	Verificadores	Pontuação
9. Tipos de fundo	Mais de 50% com habitats diversificados: pedaços de troncos submersos, cascalho ou outros habitats estáveis	5
	30 a 50% de habitats diversificados: habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos	3
	10 a 30% de habitats diversificados: disponibilidade de habitats insuficientes, substratos frequentemente modificados	2
	Menos de 10% de habitats diversificados: ausência de habitats óbvia, substrato rochoso instável para fixação dos organismos	0
10. Extensão de rápidos	Rápidos e corredeiras bem desenvolvidas: rápidos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio	5
	Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menos que o dobro da largura do rio.	3
	Trechos rápidos podem estar ausentes: rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menos que o dobro da largura do rio	2
	Rápidos ou corredeiras inexistentes	0

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Quadro 3. Protocolo de avaliação rápida da preservação de rios 2 (Grupo 2)

(continuação)

Indicadores	Verificadores	Pontuação
11. Frequência de rápidos	Rápidos relativamente frequentes: distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 5 e 7	5
	Rápidos não frequentes: distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 7 e 15	3
	Rápidos ou corredeiras ocasionais: habitats formados pelos contornos do fundo: distância entre rápidos dividida pela largura do rio entre 15 e 25	2
	Geralmente com lâminas d'água "lisa" ou com rápidos rasos: pobreza de habitats: distância entre rápidos dividida pela largura do rio maior que 25	0
12. Tipos de substrato	Seixos abundantes (prevalecendo em nascentes)	5
	Seixos abundantes: cascalho comum	3
	Fundo formado predominantemente por cascalho: alguns seixos presentes	2
	Fundo pedregoso: seixos ou lamoso	0
13. Deposição de lama	Entre 0 e 25% do fundo coberto por lama	5
	Entre 25 e 50% do fundo coberto por lama	3
	Entre 50 e 75% do fundo coberto por lama	2
	Mais de 75% do fundo coberto por lama	0
14. Depósitos sedimentares	Menos de 5% do fundo com deposição de lama: ausência de deposição nos remansos	5
	Alguma evidencia de modificação no fundo, principalmente como aumento de cascalho, areia ou lama: 5 a 30% do fundo afetado: deposição moderada nos remansos	3
	Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama: entre 30 a 50% do fundo afetado: deposição moderada nos remansos	2
	Grandes depósitos de lama, maior desenvolvimento das margens: mais de 50% do fundo modificado: remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos	0
15. Alterações no canal do rio	Canalização (retificação) ou drenagem ausente ou mínima: rio com padrão normal	5
	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes: evidência de modificações há mais de 20 anos	3
	Alguma modificação presente nas duas margens: 40 a 80% do rio modificado	2
	Margens modificadas: acima de 80% do rio modificado.	0
16. Características do fluxo das águas	Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio: mínima quantidade de substrato exposta.	5
	Lâmina d'água acima de 75% do canal do rio: ou menos de 25% do substrato exposto	3
	Lâmina d'água entre 25 e 75% do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos "rápidos" expostos	2
	Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.	0

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Quadro 3. Protocolo de avaliação rápida da preservação de rios 2 (Grupo 2)

Indicadores	Verificadores	Pontuação	(conclusão)
17. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas: mínima evidência de desflorestamento: todas as plantas atingindo altura “normal”	5	
	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa: desflorestamento evidente, mas não afetando o desenvolvimento da vegetação: maioria das plantas atingindo a altura “normal”	3	
	Entre 50 e 70% com vegetação ripária nativa: desflorestamento óbvio: trechos com solo exposto ou vegetação eliminada: menor da metade das plantas atingindo a altura “normal”	2	
	Menos de 50% da mata ciliar nativa: desflorestamento muito acentuado	0	
18. Estabilidade das margens	Margens estáveis: evidência de erosão mínima ou ausente: pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% de margem afetada	5	
	Moderadamente estáveis: pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão	3	
	Moderadamente instável: entre 30 e 50% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes	2	
	Instável: muitas áreas com erosão: frequentes áreas descobertas nas curvas do rio: erosão óbvia entre 60 e 100% da margem	0	
19. Extensão de mata ciliar	Largura da vegetação ripária maior que 18 m: sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc.)	5	
	Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m: mínima influência antrópica	3	
	Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m: influência antrópica intensa	2	
	Largura da vegetação ripária menor que 6 m	0	

Fonte: Espíndola (2022)

Além dos PARs, foram analisados dois conjuntos de variáveis propostos por Harris *et al.* (2005) e adaptados por Souza *et al.* (2013): (1) *Riparian Vegetation* (RV), composto pela densidade arbórea (número de árvores em cada transecto), área basal por ha (somatório de todas as seções transversais de um ha) e média DAP (diâmetro à altura do peito); e (2) *Riparian Forest Structure* (RFS), composto pela largura da vegetação ripária, disponibilidade de luz e percentagem de tipologia de vegetação (árvores, gramíneas, cipós e bambus, serrapilheira e solo exposto). Foram considerados os DAPs maiores que 5 cm, medidos a 1,3 m de altura em relação ao nível do solo. Primeiro obteve-se a circunferência com uma fita graduada e depois converteu-se os valores em diâmetro. A percentagem para cada tipologia de vegetação foi baseada em uma análise visual e finalizada com um cálculo simples de percentagem de área. A percentagem da tipologia “árvores” foi obtida por meio da soma das áreas basais do DAP das árvores presentes em cada transecto. A largura da vegetação ripária foi medida com fita métrica. A disponibilidade de luz, em percentagem, ao longo do canal, foi determinada por meio de um densiômetro esférico. No centro da área de cada transecto analisado, utilizou-se o densiômetro esférico e



foram contabilizados os quadrados iluminados nos quatro pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste). Posteriormente, calculou-se uma média aritmética, resultando na disponibilidade de luz.

Os PARs e as variáveis do RV e RFS foram analisados em ambas as margens de cinco transectos (aproximadamente 100 m² de área cada) ao longo do riacho Santa Maria do Leme, distantes 100 m entre si. A aplicação dos PARs foi realizada em dois períodos (chuvoso e de estiagem), nos meses de fevereiro e julho de 2023, enquanto que a análise das variáveis foi realizada apenas durante o período de estiagem (julho de 2023), considerando desprezível a mudança sazonal na composição da vegetação ripária.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nos PARs para ambas as margens dos cinco transectos do riacho Santa Maria do Leme, nas estações de estiagem e chuvosa, podem ser observados na Tabela 1. Considerando-se os valores médios dos transectos das margens esquerda e direita, o riacho foi classificado como “impactado” em ambos os protocolos, nos dois períodos avaliados.

Tabela 1. Pontuações obtidas para os PARs avaliados nos cinco transectos do riacho Santa Maria do Leme durante as estações chuvosa (fevereiro de 2023) e de estiagem (julho de 2023). As cores azul e verde indicam trechos “impactados” e “alterados”, respectivamente. Abreviação: T, transecto

Protocolo	Margem esquerda					Margem direita				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Chuvosa										
Barbosa et al. (2017)	21	21	19	16	15	10	19	30	8	15
Espíndola (2022)	41	43	39	33	32	32	33	43	23	26
Estiagem										
Barbosa et al. (2017)	20	19	19	19	15	17	17	30	11	15
Espíndola (2022)	39	47	38	42	32	31	48	42	29	32

Fonte: Autores (2023)

A pontuação média do riacho Santa Maria do Leme no período chuvoso foi de 17,4 no PAR 1, de Barbosa *et al.* (2017), e de 34,5 no PAR 2, de Espíndola (2022) (Tabela 1). Já no período de estiagem obteve-se as pontuações 18,2 (Barbosa *et al.*, 2017) e 37,8 (Espíndola, 2022). No que diz respeito à avaliação das margens, verificou-se que a margem esquerda apresentou pontuações médias de 18,4 (Barbosa *et al.*, 2017) e 38,6 (Espíndola, 2022), enquanto a margem direita pontuou 17,2 (Barbosa *et al.*, 2017) e 33,9 (Espíndola, 2022). Uma vez que maiores pontuações indicam melhores condições ambientais, os resultados sugerem maior preservação ambiental da margem esquerda, em comparação com a direita.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Na estação chuvosa, de acordo com os PARs de Espíndola (2022) e Barbosa *et al.* (2017), apenas o transecto 3 da margem direita e os transectos 1 e 2 da esquerda foram classificados como “alterados”. O restante recebeu a classificação “impactados”. No período de estiagem, verificou-se piora na conservação das margens esquerdas dos transectos 1 e 2, as quais passaram a ser classificadas como “impactadas” em ambos os PARs, com exceção da margem esquerda do transecto 2 que permaneceu “alterada” no PAR 2 (Espíndola, 2022). Além disso, houve melhora na qualidade ambiental da margem direita do transecto 2 nesse período, que passou a ser considerada “alterada”. No geral, foram observadas semelhanças entre os protocolos nas duas estações monitoradas (inter-relação entre os métodos) (Tabela 1).

As maiores mudanças observadas entre os dois períodos estiveram relacionadas, sobretudo, ao grau de erosão nas margens do riacho e à deposição de sedimentos (Figura 2). No período de estiagem, observou-se um aumento na erosão das margens de alguns transectos após eventos intensos de chuvas (e.g., precipitação mensal acumulada de 510,2 mm em dezembro de 2022). A capacidade da precipitação em induzir o carreamento de partículas sólidas é considerada um fator preponderante na erosão hídrica (Machado *et al.*, 2008). Em relação à deposição de sedimentos, observou-se maior assoreamento durante o período chuvoso (grandes depósitos de lama no leito do rio, com mais de 50% do fundo modificado) e depósitos aluviais com vestígios de solapamento em comparação ao período de estiagem, sobretudo na margem direita.

Figura 2. Erosão acentuada (A1 e A2) e deposição de sedimentos (B) nas margens do riacho estudado



Fonte: Autores (2023)

A elevada deposição de sedimentos na margem direita, principalmente durante o período chuvoso, pode estar associada às larguras abaixo do esperado para a vegetação ripária no riacho Santa Maria do Leme (Tabela 2). O Código Florestal (Lei nº 12.651; Brasil, 2012) estabelece como APP uma faixa de vegetação marginal mínima de 30 m nos cursos de água com menos de 10 m de largura, como é o caso do riacho em estudo. A Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6766; Brasil, 1979), por sua vez, estabelece a proibição da construção de estabelecimentos em uma faixa de 15 m ao redor dos cursos de água. Comparando tais limites

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

normativos com os medidos *in situ* na vegetação ripária do riacho Santa Maria do Leme, verificou-se larguras inferiores às mínimas, o que reforça o grau elevado de degradação ambiental da área de estudo. A vegetação ripária desempenha inúmeras funções ambientais, como, por exemplo, a estabilização das margens do rio, pelo desenvolvimento e manutenção de um emaranhado radicular, de forma a evitar a erosão (Cicco; Arcova, 1999). Vigiak *et al.* (2016) e Martins *et al.* (2021) reforçaram a efetividade da mata ciliar na redução do fluxo de sedimentos nas redes hidrográficas. Por outro lado, a ausência de vegetação ou largura inadequada potencializa as perdas de solo por erosão hídrica, provocando diminuição da espessura do solo, deposição de sedimentos, redução da capacidade de retenção e redistribuição da água, e aumento da velocidade do escoamento superficial (Santos, 2010). Além disso, pode ocorrer a perda de serviços ecossistêmicos importantes que seriam desempenhados por tais regiões (e.g., amortecimento de inundações e filtragem de sedimentos e nutrientes da água) (González *et al.*, 2017).

Tabela 2. Índices *Riparian Vegetation* (RV) e *Riparian Forest Structure* (RSF) e suas variáveis nas margens do riacho Santa Maria do Leme. A cor vermelha indica a não conformidade com o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e a Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6766/1979). Abreviações: T, transecto; DA, densidade arbórea; AB, área basal; DAP, diâmetro à altura do peito; VR, vegetação ripária; DL, disponibilidade de luz

Transecto	Margem esquerda					Margem direita				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
<i>Riparian Vegetation</i> (RV)										
DA (indivíduos/m ²)	6	14	4	3	14	6	4	4	4	3
AB por hectare (m ²)	4,7	18,1	5	3,7	9,1	5,4	1,8	6	3,1	13,1
Média DAP (m)	0,9	1	0,9	1,1	0,7	0,7	0,7	1,1	1	2,1
<i>Riparian Forest Structure</i> (RSF)										
Árvores	4,7	18,1	5	3,7	9,1	5,4	1,8	6	3,1	13,1
Tipo de vegetação (%)										
Gramíneas	23,8	0	47,5	96,3	0	94,6	49,1	0	48,4	0
Cipós e bambus	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0
Serrapilheira	71,4	81,9	0	0	90,9	0	49,1	47	0	86,9
Solo exposto	0	0	47,5	0	0	0	0	0	48,4	0
Largura da VR (m)	6	6,5	3	7	7	7,5	6	8	2	4
DL (%)	17,2	15,3	22,1	19,2	12,2	85,8	26	15,3	51,5	47,3

Fonte: Autores (2023)

No que concerne ao conjunto de variáveis do índice RV (Tabela 2), destaca-se a maior densidade arbórea na margem esquerda dos transectos 2 e 5. Apesar de possuírem o mesmo número de árvores, a média DAP divergiu em razão dos diferentes valores de área basal por hectare, i.e., as árvores presentes na margem esquerda do transecto 5 (Figura 3A) são árvores de menor porte quando comparadas com as árvores na margem esquerda do transecto 2 (Figura 3B). Considerando o tipo de vegetação ripária do índice RFS, verificou-se que a margem esquerda do transecto 2 é a mais ocupada por árvores (18,0%), quando comparada com os demais

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

transectos, mas há predominância de serrapilheira (81,9%), assim como nos transectos 5 das margens esquerda e direita. Vale destacar também a margem esquerda do transecto 4 e a margem direita do transecto 1, compostas principalmente por gramíneas (96,3% e 94,6%, respectivamente), bem como a presença de bambus (47,0%) na margem direita do transecto 3 (Figura 3C). Ressalta-se, ainda, a elevada presença de solo exposto na margem direita do transecto 4 (48,4%) que, dentre as áreas analisadas, é a que apresenta mais irregularidades na ocupação da zona ripária, por conta de ter sido quase totalmente desmatada para a construção de uma área de lazer (Figura 3D).

Figura 3. Porte das árvores nas margens esquerda dos transectos 5 (A) e 2 (B), presença de bambus na margem direita do transecto 3 (C) e de solo exposto na margem direita do transecto 4 em área de lazer (D)



Fonte: Autores (2023)

Os tipos de vegetação predominantes estiveram diretamente relacionados com a disponibilidade de luz em cada transecto. Por exemplo, na margem direita do transecto 1, quase totalmente composta por gramíneas e poucas árvores, a disponibilidade de luz direta foi maior (85,8%), seguida pela margem direita do transecto 4 (51,5%), composta principalmente por gramíneas e solo exposto. A vegetação é responsável por atenuar a radiação solar direta (o dossel absorve parte da energia ou desvia o seu trajeto), influenciando também no controle da temperatura do ar e na taxa de sombreamento (Teixeira; Martins, 2020). Além disso, Mascaró e Mascaró (2010) afirmaram que a infraestrutura verde e o processo de arborização urbana aumentam o bem-estar individual e comunitário, além de auxiliar no suporte de sistemas naturais. Tendo em vista os benefícios e serviços ecossistêmicos associados à arborização, são necessários mais políticas públicas para a recuperação e conservação (e.g., políticas públicas de reflorestamento) na maioria dos transectos avaliados, os quais apresentaram poucas árvores e predomínio de solo exposto, serrapilheira e gramíneas (Tabela 2).

A vegetação nativa em um ecossistema ripário tem a capacidade de aumentar a resistência do solo por meio das raízes, exercendo papel fundamental na interceptação da chuva e na ma-

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

nutrição estrutural (Wu *et al.*, 1979). Entretanto, esse papel depende do formato da copa, comprimento do tronco e peso, pois estes também podem estar relacionados com instabilidade na encosta natural (Campagnolo *et al.*, 2018). Nesse sentido, pode-se investigar uma relação entre a composição da mata ciliar (Tabela 2) e os processos erosivos e de deposição de sedimentos observados nos transectos em ambos os períodos. Os transectos com presença de erosão acentuada nos dois períodos analisados (estiagem e chuvoso) foram as margens direita dos transectos 1, 4 e 5, além da margem esquerda do transecto 5. Nesses transectos há predomínio de gramíneas, solo exposto e serrapilheira. Nota-se uma relação com o menor número de árvores de grande porte e ausência de raízes com a acentuação de processos erosivos. Além disso, a margem direita do transecto 3 foi classificada pela ausência de erosão em ambos os períodos. Esse transecto é composto por bambus (47,0%) e apresenta a segunda maior média DAP, indicando a presença de árvores de grande porte (Tabela 2). Sabe-se que as espécies de *Bambusoideae* possuem adaptação para invasão em áreas perturbadas (como observado no transecto em questão) e devido aos seus rizomas e sistema radicular específico exercem importante papel na contenção de encostas e diminuição do processo de erosão (Ferreira *et al.*, 2017).

No entanto, ressalta-se que, apesar dos bambus estarem relacionados com a minimização dos processos erosivos, a maioria das espécies encontradas, por exemplo, em beiras de estradas, são exóticas e majoritariamente de origem asiática, ainda que existam aproximadamente 230 espécies nativas. As ameaças à diversidade do bioma associadas à introdução de espécies exóticas invasoras são múltiplas, incluindo exclusão de espécies nativas por meio da competição, alterações de ciclos hidrológicos e de nutrientes no solo, e modificação das interações fauna-solo (mudanças da composição e funcionamento da biota do solo) (Santos; Calafate, 2018). Silva *et al.* (2011) relataram em seu estudo uma preocupação acerca da introdução de bambus exóticos em fragmentos de Mata Atlântica em razão da fácil adaptação e expansão no ambiente. Por esses motivos, podem tornar-se uma ameaça à biodiversidade local, uma vez que não apresentam predadores naturais na região, impossibilitando as espécies nativas de competir por alimentos e energia solar. Apesar disso, na literatura há poucos trabalhos que estudam a interação planta-solo de espécies exóticas de *Bambusoideae* (Calheiros *et al.*, 2022). Projetos de recuperação de zonas ripárias, apesar do possível uso de bambus no combate à erosão, devem levar em conta as consequências e os impactos ambientais associados à invasão biológica por tais espécies na área. São necessários estudos florestais específicos para cada região, de forma a monitorar e garantir a sustentabilidade dos ecossistemas.

4. Conclusões

O presente estudo contribuiu para identificação de impactos antrópicos associados à estrutura e conservação da vegetação ripária na bacia do riacho Santa Maria do Leme, em São Carlos (SP), no período chuvoso e de estiagem. A pesquisa reforçou a importância da vegetação ripária para a conservação e equilíbrio dos ecossistemas ribeirinhos. A ausência de uma faixa adequada de mata ciliar foi identificada como um fator potencializador das perdas de solo em



razão da erosão hídrica, potencializada pelo elevado volume de precipitações característico do período chuvoso, resultando, em alguns transectos, no transporte e deposição de sedimentos para o riacho. Transectos com predominância de gramíneas, solo exposto e serrapilheira apresentaram, em sua maioria, erosão acentuada. Por outro lado, a presença de bambus foi associada a menores indícios de feições erosivas em razão das adaptações dessas espécies em áreas perturbadas e ao seu sistema radicular específico que ajuda na contenção de encostas. No entanto, ressaltam-se os potenciais impactos relacionados à introdução de espécies exóticas, como o bambu. Além disso, as variações na composição da vegetação ripária também se refletiram na disponibilidade de luz, o que pode influenciar o microclima local. Espera-se que os resultados deste trabalho possam contribuir para o importante debate a respeito da arborização urbana e do reflorestamento de zonas ripárias, contribuindo para políticas públicas mais efetivas para a recuperação e conservação das matas ciliares.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) concedida à Cecília Loretto de Paiva para a realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

6. Referências bibliográficas

BARBOSA N., V. C.; CABRAL, J. J. S. P.; OLIVEIRA, A. L. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de um trecho de mata ciliar do rio Sirinhaém (PE). **Rev. Ibero-Am. Ciênc. Ambient.**, v.8, n.3, p.64-77, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 23 out. 2023.

BRASIL. Lei n. 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 dez. 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 23 out. 2023.

CALLISTO, M.; FERREIRA, W. R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnol. Bras.**, São Paulo, v. 14, n.1, p.465-473, 2002.

CALHEIROS, A. R.; SOUZA, M. A.; COSTA, J. G.; ARAÚJO, K. D. Espécie invasora de bambu e seus impactos sobre a qualidade do solo. **Rev. Ibero-Am. Ciênc. Ambient.**, v.13, n.6, p.63-73, 2022.

CAMPAGNOLO, K. et al. A INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO NA ESTABILIDADE DE ENCOSTAS COM ÊNFASE EM MARGEM DE RIO. Porto Alegre-RS/ Brasil: **I Encontro Nacional de Desastres**. Porto Alegre: ABRHidro, 2018.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

ÇARKOĞLU, A.; KENTMEN-ÇIN, Ç. Economic development, environmental justice, and pro-environmental behavior. **Environmental Politics**, v. 24, n. 4, p. 575–597, 20 abr. 2015.

CHUA, E. et al. The influence of riparian vegetation on water quality in a mixed land use river basin. **Wiley**, p. 1-9, 2019.

CICCO, V.; ARCOVA, F.C.S. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 125-134, 1999.

CUNHA, D. G. F. et al. Assessing Restoration of Ecosystem Functioning in Brazilian Subtropical and Tropical Streams. **Limnol. Oceanogr. Bull.**, v. 31, n. 1, p. 6–11, 2022.

EPA – *Environmental Protection Agency*. Biological criteria for the protection of aquatic life. Division of Water Quality Monitoring and Assessment. **Columbus**, Surface Water Section, v. I-III, 120 p., 1987.

FAVA, M. C. **Improving flood forecasting using real-time data to update urban models in poorly gauged areas**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019

FERREIRA, M; SOUZA, S.; CARMO, L. Utilização de bambu nativo (*Guadua ssp*) na contenção de erosão do solo no município de Xapuri/Acre, Amazônia Sul-Occidental. **XXVI Seminário de Iniciação Científica da UFAC**, Rio Branco-Acre, 2017.

GONZÁLEZ, E. *et al.* Integrative conservation of riparian zones. **Biological Conservation**, v. 211, Part B, p. 20–29, 1 jul. 2017.

HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M. T.; RESH, V. H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **J. North Am. Benthol. Soc.**, v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações estatísticas. **Panorama da cidade de São Carlos**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em: 23 out. 2023.

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. **Protocolo de Uso de Densímetro Florestal**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2017. Disponível em: https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Protocolo_de_uso_de_densimetro_florestal_06_2017.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de São Carlos, SP**: relatório técnico 144.443-205. São Paulo: Gabinete do Governador, 2015.

MACHADO, R. L. *et al.* Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2113-1223, 2008

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação Urbana**. 3a ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

MARTINS, W. A. *et al.* Reduction of sediment yield by riparian vegetation recovery at distinct levels of soil erosion in a tropical watershed. **Cienc. e Agrotecnologia**, v. 45, p. e028220, 2021.

MENDONÇA, R. P. PL 2510/2019. **Câmara dos Deputados**. 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2199215>. Acesso em: 31 set. 2022.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 6, p. 1109–1120, 2017.

SALTARELLI, W. A. *et al.* Variation of stream metabolism along a tropical environmental gradient. **Journal of Limnology**, v. 77, n. 3, p. 359–371, 2018.

SANTOS, A. I.; CALAFATE, L. Espécies invasoras. **Rev. Cienc. Elem.**, v. 6, n. 1, 2018.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 14, p. 115-123, 2010.

SILVA, I. F.; PEREIRA, D. S.; SILVA, S. R. F. Estudos morfológicos do Bambu (*Bambusa cf. vulgaris L.*): uma espécie invasora em área de Mata Atlântica no Parque Municipal de Maceió-Alagoas. **Revista Semente**, Maceió, v. 6, n.6, p.99-109, 2011.

SOUZA, A. *et al.* Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. In: HARRIS, R. *et al.* Monitoring the Effectiveness of Riparian Vegetation Restoration. **For. Ecol. Manag.**, n. 298, p. 12-18, 2013.

TEIXEIRA, A. B.; MARTINS, M. de C. A importância das árvores na cidade de lavras, minas gerais, brasil. Perspectivas de conforto térmico-visual e pertencimento afetivo urbano. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, p. 101–101, 28 fev. 2020.

SHEYKHI, M. T. Environmental Vulnerability in Developing World: A Sociological Appraisal. **International Journal of World Policy and Development Studies**, v. 8, n. 2, p. 43–47, 3 set. 2022.

VIGIAK, O. *et al.* Impact of current riparian land on sediment retention in the Danube River Basin. **Sustain. Water Qual. Ecol.**, 8:30-49, 2016.

WALSH, C. *et al.* The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **J. North Am. Benthol. Soc.**, v. 24, n. 3, 2005.

WU, T. H.; McKINNELL, W. P.; SWANSTON, D. N. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. **Can. Geotech. J.**, v. 16, n.1, p. 19-33, 1979.