

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **Experimentos eco-hidráulicos com bioindicadores bentônicos em mesocosmo fluvial**

*Rogério Emanuel R. Carvalho<sup>1</sup>; Hersília Santos<sup>2</sup> & Marcos Callisto<sup>3</sup>*

**RESUMO** - As características do escoamento influenciam diretamente a fauna bentônica de um riacho. Este estudo tem como objetivos avaliar (i) se micro-habitats artificiais colonizados em um riacho alcançam composição, riqueza e abundância similares da assembleia no riacho e (ii) a resposta de comunidade bentônica a alterações de vazão em um canal hidráulico em termos de propensão à deriva. Água e invertebrados do manancial de Taboões, Parque Estadual da Serra do Rola Moça, Belo Horizonte, MG foram coletados e transferidos para o canal hidráulico do CEFET-MG, para identificar os efeitos de alterações hidráulicas sobre a estrutura da comunidade de (i) invertebrados que colonizaram micro-habitats artificiais durante 71 dias e (ii) invertebrados transferidos diretamente do riacho (sem pré-colonização). Os resultados permitem concluir que a colonização de micro-habitats experimentais foi eficaz, e que as alterações de vazão modificaram a densidade de indivíduos Ephemeroptera e Diptera no *drift* dos experimentos. A composição e a riqueza de macroinvertebrados em *drift* não sofreu alteração evidenciando que os organismos coletados estão adaptados a mudanças bruscas de vazão. Estes experimentos subsidiarão futuros experimentos eco-hidráulicos em mesocosmos *in situ* para testar os efeitos de mudanças globais sobre biodiversidade e processos ecológicos em riachos de cabeceira.

**ABSTRACT** - The river flow characteristics influence directly the benthic fauna of a stream. This study aims to evaluate (i) if artificial microhabitats colonized in a stream reach similar composition, richness, and abundance of the instream assemblages and (ii) the response of a benthic community to flow changes in terms of propensity to drift. Water and invertebrates were collected on the Taboões spring, Serra do Rola Moça State Park, Belo Horizonte (MG) and transferred to hydraulic channel of CEFET-MG in order to identify the effects of hydraulic changes on the community structure of (i) invertebrates that colonized artificial micro-habitats for 71 days and (ii) invertebrates transferred directly from the stream (no pre-colonization). The results allow concluding that the process of colonization was effective, and the flow changes modified the density of Ephemeroptera and Diptera individuals in drift. The composition and richness of macroinvertebrates in the drift did not change, evidencing that benthic organisms are adapted to sudden changes of flow. These experiments will support future eco-hydraulic experiments in mesocosms *in situ* to test the effects of global changes on biodiversity and ecological processes in headwater streams.

**Palavras-chave** - experimentos eco-hidráulicos, mesocosmos, bioindicadores bentônicos.

<sup>1</sup> UFMG, Escola de Engenharia, Graduando Engenharia Ambiental, (31) 3409-1893 – rogericoltec@gmail.com

<sup>2</sup> CEFET – MG, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Pesquisa em Ecohidráulica (31) 3319-6875 - hsantos@civil.cefetmg.br

<sup>3</sup> UFMG, ICB, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Laboratório de Ecologia de Bentos CP 486 – callistom@ufmg.br

## INTRODUÇÃO

Atividades antrópicas causam alterações nos ecossistemas em todo o planeta, tanto em aspectos de estrutura quanto de funcionamento (Vitousek *et al.*, 1997). O termo “antropoceno” refere-se à época geológica atual em que atividades humanas têm impactado severa e irreversivelmente todos os ecossistemas e suas espécies (Corlett, 2015; Lewis e Maslin, 2015). Em ecossistemas aquáticos, as atividades humanas alteram importantes processos geomorfológicos, como o transporte e acumulação de sedimentos fluviais e os processos ecológicos de produção, consumo e decomposição de matéria orgânica (Wilkinson, 2005).

Os ecossistemas aquáticos são essenciais para a sociedade humana por oferecerem bens e serviços vitais incluindo água de boa qualidade para abastecimento, alimentos, vias de transporte, e geração de energia (Hay *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2013). Existem cinco principais categorias de ameaças aos ecossistemas aquáticos: exploração excessiva, poluição de cursos d’água, destruição ou degradação de habitats, invasão por espécies não nativas e mudanças bruscas do regime de escoamento (Malmqvist e Rundle, 2002; Dudgeon *et al.*, 2006). Todas essas ameaças são observadas em múltiplas escalas espaciais (local, regional, global) e temporais, de modo que um complexo e interconectado sistema de sinergia influencia a biodiversidade (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015; Firmiano *et al.*, 2017).

O regime de escoamento é frequentemente considerado uma variável abiótica chave nos ecossistemas aquáticos (Poff *et al.*, 1997; Bunn e Arthington, 2002) e pode variar ao longo de um mesmo curso d’água. Essa variabilidade pode estar relacionada a fatores naturais como clima, geologia e topografia (Bækkeli *et al.*, 2017). As variações naturais do escoamento são fundamentalmente importantes para a integridade biótica de ecossistemas lóticos (Poff *et al.*, 1997). Entretanto, o regime de escoamento natural de muitos rios tem sido modificado, causando impactos sobre a biota, incluindo os organismos bentônicos (Callisto e Goulart, 2005; Hay *et al.*, 2008).

Organismos bentônicos são insetos, anelídeos, moluscos e crustáceos com tamanho maior que 0,5 mm que vivem no fundo de ecossistemas aquáticos (Esteves, 2011). Os macroinvertebrados participam de processos ecológicos incluindo a decomposição de detritos foliares de matas ciliares, alimentam-se de microrganismos e invertebrados menores, disponibilizando nutrientes e energia para outros níveis tróficos superiores incluindo aves aquáticas, anfíbios, répteis e peixes (Graça, 2001). Estes organismos são bioindicadores de qualidade de água devido a algumas características ecológicas peculiares: (i) possuem muitas espécies com diferentes níveis de tolerância a distúrbios ambientais; (ii) são sésseis ou possuem mobilidade restrita; (iii) possuem ciclos de vida longos, permitindo avaliações em larga escala temporal e (iv) são relativamente grandes e fáceis de amostrar

em campo e manipular em condições experimentais.

Os impactos que alterações em características de escoamento de rios causam na composição e estrutura de comunidades macroinvertebrados bentônicos têm sido intensamente estudados (Naman *et al.*, 2017; Arevalo *et al.*, 2019). Por exemplo, um aumento abrupto na vazão de um rio pode levar ao aumento da taxa de deriva (*drift*) de invertebrados que são desalojados fisicamente do substrato (Anderson e Lehmkuhl, 1968). Na América Latina, esses estudos têm sido realizados em experimentos *in situ* a jusante de barramentos hidrelétricos (p.ex. Castro *et al.*, 2013; Tupinambás *et al.*, 2015) e, em outras regiões, abordagens experimentais em mesocosmos têm utilizado canais artificiais (p. ex. Bækkelie *et al.*, 2017; Calapez *et al.*, 2017; Naman *et al.*, 2017; Arevalo *et al.*, 2019).

Mesocosmos são aparatos experimentais que permitem a manipulação e limitação de variáveis ambientais como vazão de escoamento, entrada de luz natural ou presença de poluentes na água (Odum, 1984; Petersen e Englund, 2005). Globalmente, pesquisadores têm utilizado esta metodologia para testar hipóteses experimentais sob condições controladas (Ives *et al.*, 1996). Os mesocosmos, por serem unidades experimentais individualizadas e controladas, evitam a influência de processos naturais como imigração, predação ou emergência de invertebrados, o que permite maior precisão em estimativas de respostas biológicas, incluindo o *drift* de invertebrados. Os resultados obtidos nos experimentos em mesocosmos podem ser facilmente extrapolados para o ambiente natural (Schindler, 1998).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade e realizar experimentos eco-hidráulicos com macroinvertebrados em um canal artificial, com controle de variáveis de escoamento (vazão e inclinação do canal). Buscou-se responder às seguintes perguntas: (i) há diferença na estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos que colonizaram micro-habitats experimentais em comparação às assembleias que naturalmente vivem no riacho? e (ii) Alterações de vazão implicam alterações na riqueza e/ou densidade de macroinvertebrados bentônicos em *drift*? Nós previmos que: (i) haverá diferença entre as assembleias de macroinvertebrados em micro-habitats colonizados *versus* aquelas no riacho e (ii) a composição de invertebrados em “*drift*” será influenciada pelas alterações de vazão, uma vez que a densidade de organismos menos resistentes a mudanças bruscas no escoamento deverá aumentar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Água e macroinvertebrados foram coletados no manancial de Taboões (20° 03' S, 44° 03' W), Parque Estadual da Serra do Rola Moça, na região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Os experimentos eco-hidráulicos foram realizados no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) em Belo Horizonte. O canal hidráulico utilizado possui 0,15m de largura, 3m

de comprimento e 0,3 m de altura, formato retangular, construído em acrílico com 5 mm de espessura, e posicionado com 2,1% de declividade. O abastecimento do canal foi realizado por uma bomba centrífuga com 1 cv de potência, cuja sucção está ligada a uma caixa de água com capacidade de 500 litros. O sistema de abastecimento conta com um medidor de vazão eletromagnético (Incontrol) e um inversor de frequência, que permitiu alterar a rotação da bomba centrífuga e conseqüentemente manipular as alterações de vazão no canal durante os experimentos eco-hidráulicos.

Para caracterização física e química da água foram mensurados pH, temperatura (°C), oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), condutividade elétrica ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), turbidez (UNT) e sólidos totais dissolvidos ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Estes parâmetros de qualidade de água foram mensurados no riacho, no início e ao final dos dois experimentos eco-hidráulicos. A caracterização hidráulica dos habitats no riacho foi realizada por meio da medição da profundidade (m) e velocidade do escoamento da lâmina d'água (m/s). No canal hidráulico, os valores de profundidade foram ajustados para simular a lâmina d'água amostrada em campo (condição intermediária). A partir dessa configuração e com base nos dados obtidos em campo foram definidas as condições de: (i) vazão típica do riacho em campo; (ii) vazão em período de seca extrema e (iii) vazão em período de chuva intensa. Em seqüência foi calculada a vazão em cada situação experimental (i, ii, iii).

### **Experimento 1**

Foram instaladas 10 bandejas plásticas (micro-habitats experimentais – ME) para serem colonizadas por macroinvertebrados bentônicos no fundo do riacho no manancial de Taboões por um período de 71 dias. As bandejas tinham duas aberturas laterais para permitir a passagem de água no sentido montante-jusante, cobertas com tela de 200  $\mu\text{m}$  para evitar perda de macroinvertebrados. As bandejas foram preenchidas com seixos e cascalhos do fundo do riacho e distribuídas em diferentes micro-habitats.

No CEFET-MG foram utilizadas três bandejas de ME colonizadas por invertebrados e posicionadas intercaladas por bandejas não colonizadas ( $n = 7$ ) no canal hidráulico (total 10 bandejas). Foram realizadas três condições experimentais de vazão: (i)  $Q = 0,0020 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ; (ii)  $Q = 0,0015 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e (iii)  $Q = 0,0022 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Cada experimento de manipulação de vazão durou uma hora e os macroinvertebrados carreados foram coletados com rede de *drift* de 250  $\mu\text{m}$  instalada no fim do canal.

### **Experimento 2**

Foram coletados seixos e cascalho ( $0,04 \text{ m}^3$ ) no riacho e utilizados para preencher o fundo do canal hidráulico. Foram coletados macroinvertebrados no riacho (rede kicking-net,  $1 \text{ m}^2$ ), transportados em recipiente com água do riacho e bomba de aquário a pilha (para manter o oxigênio dissolvido elevado) em caixa térmica e semeados no canal hidráulico no início de cada experimento.

Uma camada de sedimento com 15 cm de altura foi preparada no canal, e após 15 minutos da semeadura dos indivíduos, foram testados os três cenários hidráulicos do experimento anterior.

### **Caracterização de comunidades bentônicas e medição de *drift* típico no manancial**

Foram coletadas 3 amostras de sedimento nos dias de experimentos (Surber 0,09 m<sup>2</sup>, 0,25 mm) para caracterizar a estrutura e composição de comunidades de macroinvertebrados bentônicos no riacho do manancial de Taboões (Figura 1). Adicionalmente foi mensurado o *drift* típico de invertebrados no riacho com auxílio de uma rede de *drift* (0,16 m<sup>2</sup>, 0,25 mm) posicionada durante uma hora no riacho. As amostras foram fixadas com álcool 70%, levadas para o Laboratório de Ecologia de Bentos na UFMG, lavadas em peneira com malhas de 0,50 e 0,25 mm, triadas em bandejas trans-iluminadas e identificadas até o nível de ordem sob lupa Zeiss (32x) com auxílio de chaves de identificação (Pérez, 1988; Mugnai *et al.*, 2010). Todos os organismos foram depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do ICB/UFMG.

### **Análise de dados**

Para avaliar se a colonização por macroinvertebrados nas bandejas alcançou o mesmo padrão de estrutura e composição das comunidades de organismos no riacho (pergunta 1) foram comparadas a riqueza taxonômica (nº ordens), densidade (ind/m<sup>2</sup>) e composição taxonômica entre bandejas e amostras com Surber (controle).

Para avaliar se as manipulações de vazão nos experimentos no canal hidráulico alteraram o padrão do *drift* de macroinvertebrados (pergunta 2) foram comparadas a riqueza taxonômica, densidade (ind/m<sup>2</sup>) e composição taxonômica entre as 3 condições experimentais de vazão e o controle (*drift* típico de invertebrados previamente mensurado no riacho).

Em ambos os experimentos eco-hidráulicos, as métricas biológicas de riqueza e densidade foram avaliadas por meio de teste não paramétrico Mann-Whitney. A composição foi avaliada por uma análise de permutação multivariada com 1000 permutações. Todas as análises foram realizadas no programa R (R Core Team, 2018) utilizando o pacote *vegan* (Oksanen *et al.*, 2012) e as funções *wilcox.test* e *adonis*.

## **RESULTADOS**

Não houve diferença nas variáveis físicas e químicas de coluna d'água mensuradas no riacho e no canal hidráulico durante todos os experimentos: pH = 8,90 (± 0,13) e 8,50 (±0,49), respectivamente; temperatura = 19,50°C (± 0,71); oxigênio dissolvido 7,50 mg.L<sup>-1</sup> (± 0,28); condutividade elétrica = 10,35 µS.cm<sup>-1</sup> (± 0,02) e 15,37 µS.cm<sup>-1</sup> (± 1,96); turbidez = 0,68 UNT (± 0,11) e 11,00 UNT (±0,14); sólidos totais dissolvidos = 0,4 µg.L<sup>-1</sup> (±0,62) e 1,28 µg.L<sup>-1</sup> (± 0,57).

## Experimento 1

No total foram identificados 2.093 macroinvertebrados distribuídos em 10 táxons. Nas amostras de Surber no riacho foram identificados 265 organismos e 7 táxons (densidade 644 ind/m<sup>2</sup>), enquanto que nas amostras de micro-habitats experimentais, 531 organismos e 9 táxons. Nas amostras de *drift* no riacho foram coletados 1.202 organismos, de 10 táxons. Não houve diferenças significativas entre a riqueza (ME = 6,11 ± 1,27, riacho = 5,33 ± 1,15, W = 22,5, p = 0,72), densidade (ME = 1.515,17 ± 834,73 ind/m<sup>2</sup>, riacho = 477,27 ± 596,39 ind/m<sup>2</sup> W = 12, p = 0,35), e a composição (F<sub>(1)</sub> = 1,6696, p = 0,11) de macroinvertebrados entre os micro-habitats experimentais e os organismos que vivem no fundo do riacho. Foi observada variação na densidade de indivíduos das ordens Ephemeroptera e Diptera comparando o *drift* e os micro-habitats experimentais (Figura 2). A ordem Ephemeroptera foi dominante, representando 48% do total de organismos amostrados, seguida por Diptera (32%) e Trichoptera (8%). Os 7 táxons restantes representaram apenas 12% do total de organismos coletados (Coleoptera, Hemiptera, Plecoptera, Odonata, Acari, Lepdoptera e Annelida).

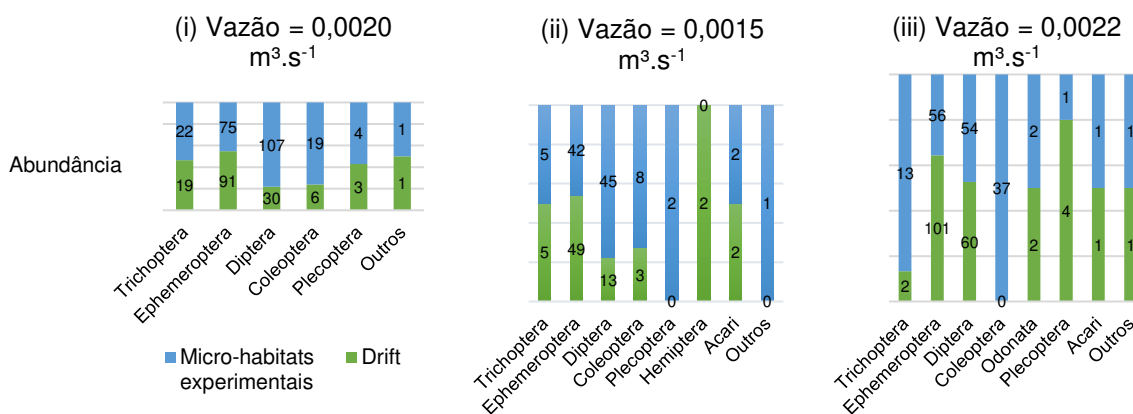


Figura 1 - Composição taxonômica de organismos nos três cenários hidráulicos do experimento 1.

## Experimento 2

Sete *taxa* foram amostrados no riacho: Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Plecoptera e Acari, com densidade total de 322 ind/m<sup>2</sup>. Não houve diferença significativa entre as métricas biológicas do “*drift* típico” do riacho de Taboões e os valores de *drift* mensurados no canal eco-hidráulico nos 2 experimentos e 3 condições experimentais de vazão (Tabela 1).



TABELA 1: Resultados dos testes de Mann-Whitney para as métricas riqueza e densidade, e permutação multivariada para a composição entre as três condições experimentais de vazão *versus* o controle no riacho.

Condições Experimentais	Riqueza	Densidade	Composição
vazão típica x controle	W = 1,5; p= 1,0	W = 4; p= 0,34	F <sub>(1)</sub> = 0,85918; p = 0,67
seca extrema x controle	W = 1,5; p= 0,6	W = 4; p= 0,34	F <sub>(1)</sub> = 0,74829; p = 0,67
chuva intensa x controle	W = 1,5; p= 1,0	W = 4; p= 0,34	F <sub>(1)</sub> = 1,0657; p = 0,67

## DISCUSSÃO

O método utilizado para permitir a colonização de organismos e posterior utilização em experimentos eco-hidráulicos em mesocosmos foi bastante eficiente, visto que não houve diferenças significativas entre as métricas biológicas comparando os micro-habitats experimentais colonizados e as assembleias de macroinvertebrados no riacho. Esta validação permitiu que fossem conduzidos os experimentos onde a vazão do canal artificial foi manipulada para simular três cenários climáticos, mas não foram encontradas diferenças nas respostas das métricas biológicas analisadas. No entanto, foi possível observar que a densidade de Ephemeroptera no *drift* dos experimentos simulando os cenários de chuva intensa e seca extrema foi maior, denotando aumento da propensão deste grupo de macroinvertebrados ao *drift*. Por outro lado, a densidade de Diptera em *drift* diminuiu, evidenciando sua resistência a mudanças hidráulicas em cenários extremos.

Os Diptera são organismos pequenos e de corpo flexível o que lhes confere maior resiliência a mudanças de vazão devido ao aumento ou diminuição do fluxo de água, pois buscam refúgio entre pedras e seixos no fundo de riachos, evitando serem levados no *drift*. No entanto, os Ephemeroptera vivem aderidos ao substrato, o que facilita serem arrastados pela água em situações extremas de pulsos imprevisíveis de vazão como as testadas em nossos experimentos eco-hidráulicos (Firmiano *et al.*, 2017).

Embora nossos resultados não tenham evidenciado diferença significativa entre as métricas biológicas avaliadas para comparar o “*drift* típico” do riacho com o *drift* nos experimentos, os invertebrados Ephemeroptera e Diptera apresentaram respostas distintas às condições experimentais de seca extrema ou chuva intensa. Estes resultados corroboram o papel destes organismos como bioindicadores bentônicos em experimentos eco-hidráulicos (Castro *et al.*, 2013; Tupinambás *et al.*, 2016). Os experimentos evidenciaram que distúrbios de vazão influenciam as comunidades bentônicas selecionando atributos funcionais resistentes a alterações de vazão de escoamento. Os resultados destes experimentos em três condições experimentais de vazão serão a base para futuros experimentos *in situ* que realizaremos com mesocosmos fluviais onde serão avaliados os efeitos de mudanças globais sobre biodiversidade aquática e processos ecológicos em riachos de cabeceira.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o financiamento do Projeto P&D ANEEL/CEMIG GT-599, à Dra. Kele Rocha Firmiano pelo auxílio nas análises estatísticas e ao Prof. Ricardo Solar pelas discussões durante os experimentos hidráulicos no CEFET-MG. À COPASA pela autorização de pesquisa e ao IEF-MG pela licença Nº 060/2018; aos apoios do CNPq (bolsa IC Programa PROBIC e bolsa produtividade pesquisa 303380/2015-2), CAPES (código financiamento 001), FAPEMIG (PPM-00104-18).

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F. C., SEGURADO, P., MARTINS, M. J., BEJARANO, M. D., NILSSON, C., PORTELA, M. M., & MERRITT, D. M. (2018). *The abundance and distribution of guilds of riparian woody plants change in response to land use and flow regulation*. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), pp. 2227–2240.
- ANDERSON, N. H., & LEHMKUHL, D. M. (1968). *Catastrophic Drift of Insects in a Woodland Stream*. *Ecology*, 49(2), pp. 198–206.
- AREVALO, E., LARRAÑAGA, A., LANG, M., PREVOST, E., & BARDONNET, A. (2019). *Comparison of the propensity to drift for three invertebrate taxa: a laboratory study*. *Hydrobiologia*, 830, pp. 243–254.
- BÆKKELIE, K. A. E., SCHNEIDER, S. C., HAGMAN, C. H. C., & PETRIN, Z. (2017). *Effects of flow events and nutrient addition on stream periphyton and macroinvertebrates: an experimental study using flumes*. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 418, pp. 492–458.
- BUNN, S. E., & ARTHINGTON, A. H. (2002). *Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity*. *Environmental Management*, 30(4), pp. 492–507.
- CALAPEZ, A. R., BRANCO, P., SANTOS, J. M., FERREIRA, T., HEIN, T., BRITO, A. G., & FEIO, M. J. (2017). *Macroinvertebrate short-term responses to flow variation and oxygen depletion: A mesocosm approach*. *Science of the Total Environment*, 599–600, pp. 1202–1212.
- CALLISTO, M., & GOULART, M. (2005). *Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serra do Cipo National Park, Brazil*. *Hydrobiologia* 539(47), pp. 47–56.
- CASTRO, D., HUGHES, R., CALLISTO, M., CASTRO, D., HUGHES, R., & CALLISTO, M. (2013). *Influence of peak flow changes on the macroinvertebrate drift downstream of a Brazilian hydroelectric dam*. *Brazilian Journal of Biology*, 73(4), pp. 775–782.
- CORLETT, R. T. (2015). *The Anthropocene concept in ecology and conservation*. *Trends in Ecology and Evolution*, 30(1), pp. 36–41.
- DUDGEON, D., ARTHINGTON, A. H., GESSNER, M. O., KAWABATA, Z. I., KNOWLER, D. J., LÉVÊQUE, C., ... & SULLIVAN, C. A. (2006). *Freshwater biodiversity: importance, threats,*



- status and conservation challenges*. Biological reviews, 81(2), pp. 163-182.
- ESTEVEZ, F. D. A (2011). *Fundamentos de limnologia*. Interciência, 790 p.
- FIRMIANO, K. R., LIGEIRO, R., MACEDO, D. R., JUEN, L., HUGHES, R. M., & CALLISTO, M. (2017). *Mayfly bioindicator thresholds for several anthropogenic disturbances in neotropical savanna streams*. Ecological Indicators, 74, pp. 276–284.
- GRAÇA, M. A. (2001). *The role of invertebrates on leaf litter decomposition in streams—a review*. International Review of Hydrobiology, 86(4-5), pp. 383-393.
- HAY, C. H., FRANTI, T. G., MARX, D. B., PETERS, E. J., & HESSE, L. W. (2008). *Macroinvertebrate drift density in relation to abiotic factors in the Missouri River*. Hydrobiologia, 598(1), pp 175-189.
- IVES, A. R., FOUFOPOULOS, J., KLOPFER, E. D., KLUG, J. L., & PALMER, T. M. (1996). *Bottle or Big-Scale Studies: How do we do Ecology?* Ecology 77(3) pp. 631-685.
- LÉVÊQUE, C., SULLIVAN, C. A. (2006). *Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges*. Biological Reviews, 81(02), pp. 163-182
- LEWIS, S. L., & MASLIN, M. A. (2015). *Defining the Anthropocene*. Nature, 519(7542), pp. 171–180.
- LYTLE, D. A., & POFF, N. L. (2004). *Adaptation to natural flow regimes*. Trends in Ecology & Evolution, 19(2), pp. 94–100.
- MALMQVIST, B., & RUNDLE, S. (2002). *Threats to the running water ecosystems of the world*. Environmental Conservation, 29(02), pp 134–153.
- MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. (2010). *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro*. Technical Books Editora Ltda Rio de Janeiro - RJ, 174p.
- NAIMAN, R. J., BUNN, S. E., NILSSON, C., PETTS, G. E., PINAY, G., & THOMPSON, L. C. (2002). *Legitimizing Fluvial Ecosystems as Users of Water: An Overview*. Environmental management, 30(4) pp. 4455-467.
- NAMAN, S. M., ROSENFELD, J. S., RICHARDSON, J. S., & WAY, J. L. (2017). *Species traits and channel architecture mediate flow disturbance impacts on invertebrate drift*. Freshwater Biology, 62(2), pp. 340–355.
- ODUM, E. P. (1984). *The Mesocosm*. BioScience, 34(9), pp. 558–562.
- OKSANEN, J., BLANCHET, F. G., KINDT, R., LEGENDRE, P., O'Hara, R. B., SIMPSON, G. L., ... & WAGNER, H. (2010). *Vegan: community ecology package*. R package version 1.17-4.
- PÉREZ, G.R. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento*

*de Antioquia*. Colciencias Bogotá, 217p

PETERSEN, J. E., & ENGLUND, G. (2005). *Dimensional approaches to designing better experimental ecosystems: A practitioners guide with examples*. *Oecologia*, 145(2), pp. 216–224.

POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., STROMBERG, J. C. (1997). *The Natural Flow Regime*. *BioScience*, 47(11), pp. 769–784.

POSTEL, S., & RICHTER, B. (2012). *Rivers for life: managing water for people and nature*. Island Press. 220 p.

R CORE TEAM. (2018). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

REVENGA, C., CAMPBELL, I., ABELL, R., DE VILLIERS, P., & BRYER, M. (2005). *Prospects for monitoring freshwater ecosystems towards the 2010 targets*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), pp. 397-413.

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, Å., CHAPIN, F. S., LAMBIN, E. F., ... FOLEY, J. A. (2009). *A safe operating space for humanity*. *Nature*, 461(7263), pp. 472–475.

SCHINDLER, D. W. (1998). *Replication versus realism: The need for ecosystem-scale experiments*. *Ecosystems*, 1(4), pp. 323–334.

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., CORNELL, S. E., FETZER, I., BENNETT, E. M., ... & FOLKE, C. (2015). *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*. *Science*, 347(6223), pp. 1259855.

TUPINAMBÁS, T. H., CORTES, R. M. V., HUGHES, S. J., VARANDAS, S. G., & CALLISTO, M. (2016). *Macroinvertebrate responses to distinct hydrological patterns in a tropical regulated river*. *Ecohydrology*, 9(3), pp. 460–471.

VITOUSEK, P., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., & MELLILO, J. M. (1997). *Human domination of Earth's ecosystems*. *Science*, 227(5325), pp. 494–499.

WILKINSON, B. H. (2005). *Humans as geologic agents: A deep-time perspective*. *Geology*, 33(3), pp. 161–164.