XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão
De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

INFLUÊNCIA DE HABITATS FLUVIAIS NA DISTRIBUIÇÃO DA RIQUEZA E NA ALIMENTAÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM RIACHOS DE CABECEIRA NO CERRADO

Wander Ribeiro Ferreira [1]; Diego Rodrigues Macedo[2]; Raphael Ligeiro[3]; Marcos Callisto [1]*

Resumo – Para a conservação de riachos de cabeceira é fundamental o entendimento das interações de fatores ambientais (p.ex., habitats físicos e composição química da água) com organismos aquáticos. O objetivo deste estudo foi avaliar se fatores ambientais influenciam a riqueza taxonômica de assembleias de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e alimentação de larvas de *Phylloicus* sp (Trichoptera: Calamoceratidae), em riachos de cabeceira em duas bacias hidrográficas do Cerrado. Testamos as hipóteses: (1) diferentes habitats físicos explicam a riqueza taxonômica dos riachos em cada bacia estudada, (2) um modelo combinado das duas bacias explica menos a variação da riqueza, e (3) a composição de cada item alimentar de *Phylloicus* sp é explicada por características do habitat físico diferentes. Nossos resultados evidenciaram que fatores ambientais, por exemplo largura média da margem, seixos e cascalhos, oxigênio dissolvido e copa ripária foram importantes preditores da riqueza de EPT. A proporção de pequenos detritos e vegetação de pequeno porte foram importantes preditores dos conteúdos alimentares no trato digestivo de *Phylloicus* sp. Acreditamos que as informações contidas neste estudo podem ser úteis para a proposição de medidas de conservação e manejo de riachos em cenários de secas atípicas como resultado de mudanças globais.

Palavras-Chave – bioindicadores, habitat físico, fragmentadores.

FLUVIAL HABITAT INFLUENCE IN THE DISTRIBUTION OF RICHNESS AND FEEDING OF BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN HEADWATER STREAMS IN BRAZILIAN SAVANNA

Abstract For the conservation of headwater streams is fundamental to understand the interactions between environmental factors (e.g., physical habitats and water chemistry) and aquatic organisms. The aim of this study was to assess whether the environmental factors influence the taxonomic richness of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) and feeding of *Phylloicus* sp larvae (Trichoptera: Calamoceratidae) in headwater streams in two river basins of the Brazilian savanna. We tested the hypotheses: (1) different sets of metrics explain the taxonomic richness in streams in each basin; (2) in a combined model considering the two basins together less variability of richness is explained; and (3) the composition of each food item of *Phylloicus* sp larvae is explained by different features of the physical habitat. Our results showed that environmental factors, for example average margin width, pebbles and gravels, dissolved oxygen and riparian canopy were important for explaining the macroinvertebrate richness of the streams. Proportion of small debris and small vegetation were important as predictors of food content in the digestive tract of *Phylloicus* sp. We believe that the information contained in this study may be useful to propose conservation measures and management of streams in atypical dry scenarios as a result of global changes.

Key-words – bioindicators, physical habitat, shredders.

[1] Laboratório de Ecologia de Bentos, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, * ferreirawr@gmail.com
[2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
[3] Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará

INTRODUÇÃO

Alterações de componentes estruturais do habitat em ecossistemas aquáticos geradas por ações antrópicas podem levar à perda de integridade ecológica, resultando na redução da diversidade ou à perda total de assembleias aquáticas [Chapman e Chapman (2002)]. Para a conservação de riachos de cabeceira é fundamental o entendimento das interações de fatores do ambiente (p.ex. habitats físicos e composição química da água) com assembleias de organismos aquáticos [Nerbonne e Vondracek (2001)]. Pesquisas em escala local (leito dos riachos e zona ripária) têm mostrado como a complexidade de habitats físicos (estimada em termos de componentes estruturais, variedade de substratos no canal de riachos, variação hidráulica e regime de fluxo) influencia a composição e estrutura de assembleias aquáticas por proverem uma ampla variedade de condições físicas para as diferentes espécies [Hughes *et al.* (2010); Ferreira *et al.* (2014); Kaufmann e Faustini (2012)].

Os macroinvertebrados bentônicos são organismos bastante recomendados para avaliações de mudanças do ambiente, sendo considerados eficientes bioindicadores de condições ecológicas [Bonada *et al.* (2006)]. Devido à estreita relação desses organismos com os habitats físicos, eles exibem um contínuo de respostas aos fatores que atuam em escala espacial, alterando a composição taxonômica, distribuição e abundância das assembleias [Dohet *et al.* (2008)]. As assembleias das ordens de insetos Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) são indicadoras de boa qualidade de ecossistemas aquáticos [Callisto *et al.* (2001); Ferreira *et al.* (2011)]. Portanto, qualquer alteração no ambiente físico desses organismos pode afetá-los de forma negativa. Por exemplo, a retirada da vegetação riparia aumenta a erosão das margens, o assoreamento e o escoamento superficial para dentro dos rios, consequentemente reduzindo a diversidade de habitats muitas vezes utilizados como refúgio pelos macroinvertebrados [Ligeiro *et al*. (2014)]. Além disso, a retirada da vegetação ripária diminui a entrada de matéria orgânica como, por exemplo, folhas que são alimento e refúgio para macroinvertebrados fragmentadores [Melody e Richardison (2007); Moretti *et al.* (2009)].

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar se as características de habitat físico e fatores físicos e químicos da água influenciam a composição, estrutura e alimentação de assembleias de EPT em riachos de cabeceira no cerrado brasileiro. Testamos as hipóteses: (1) os habitats físicos que explicam a riqueza nos riachos serão diferentes em cada uma das duas bacias hidrográficas estudadas; (2) um único modelo utilizado para explicar a riqueza taxonômica das duas bacias conjuntamente terá menor poder de explicação; (3) a composição de cada tipo de item alimentar presente nos tratos digestivos de larvas de *Phylloicus* sp (Trichoptera) é explicada por características do habitat físico diferentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Áreas de estudo

Este estudo foi desenvolvido em 80 riachos de cabeceira de 1-3ª ordem segundo Strahler (1957) a montante dos reservatórios hidrelétricos de Nova Ponte e Três Marias, pertencentes a duas bacias hidrográficas importantes: Rio Paraná e Rio São Francisco, respectivamente (Figura 1). Os trechos de riachos foram amostrados nos meses de setembro de 2009 e setembro de 2010, um ano em cada bacia. A definição da rede de amostragens seguiu os critérios estabelecidos pelo "US-EMAP Wadeable Stream" [Olsen e Peck (2008)], utilizando o método de Tesselação Aleatória Estratificada Generalizada [GRTS; Stevens e Olsen (2004)], que gera uma rede amostral espacialmente balanceada.

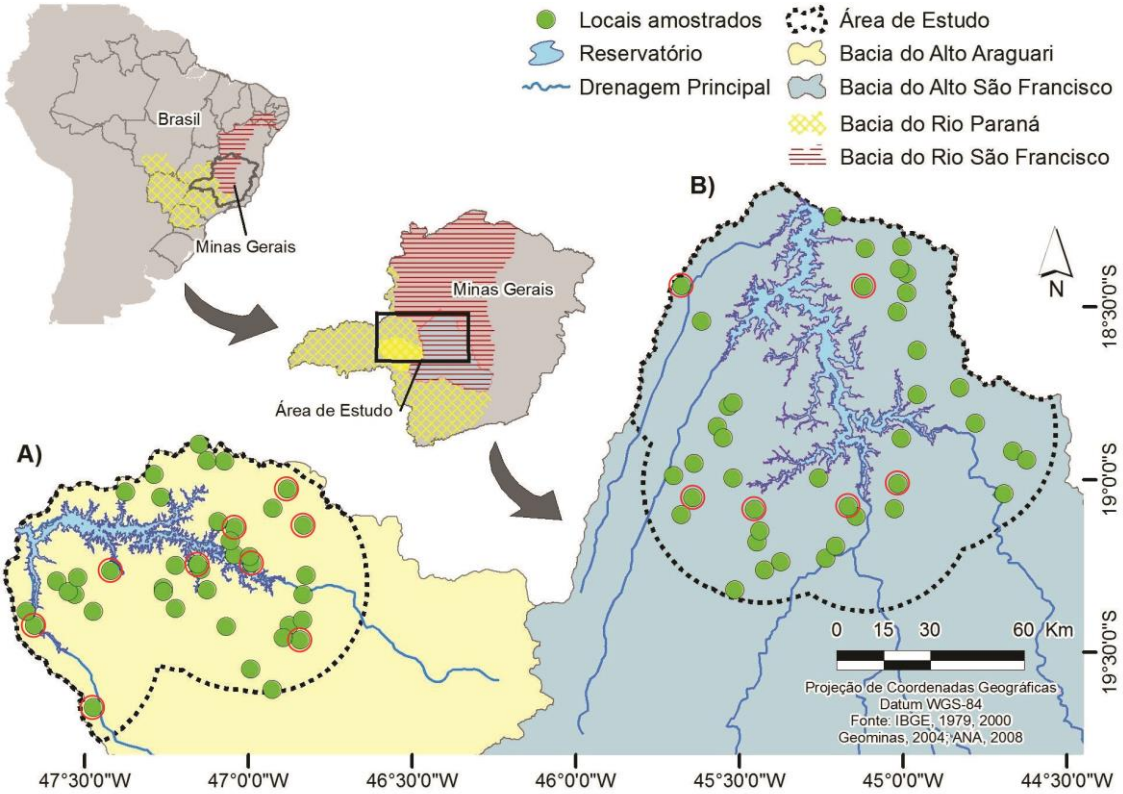

Figura 1. Pontos de amostragens: (A) bacia do rio Araguari – riachos a montante da UHE Nova Ponte e (B) bacia do rio São Francisco – riachos a montante da UHE Três Marias. Obs: pontos amostrais circulados em vermelho correspondem aos pontos de coleta de fragmentadores para estudo do conteúdo alimentar.

Avaliação de habitats físicos

As medidas de habitats físicos nos riachos foram realizadas em campo de acordo com o protocolo desenvolvido pelo US-EPA [Peck *et al.* (2006)]. O comprimento de cada trecho amostral foi definido por sua largura média multiplicada por 40, sendo 150 metros o comprimento mínimo amostrado. Em cada trecho foram estabelecidos 11 transectos transversais equidistantes e perpendiculares ao trecho do riacho, demarcados de "A" (mais a jusante) a "K" (mais a montante), definindo 10 seções longitudinais (inter-transctos) de mesmo comprimento. Em cada transecto, e ao longo das seções, foram avaliadas as características de habitats físicos como as dimensões do canal (p.ex. largura molhada, profundidade, leito sazonal), condições da mata ripária (p.ex. presença e cobertura de dossel arbóreo, sub-bosque), presença de abrigos no canal (e. g. margens escavadas, árvores e galhos caídos, algas filamentosas, macrofitas), e presença de material orgânico (e. g. detritos vegetais, banco de folhas). A geração das métricas de habitats físicos a partir das mensurações feitas em campo foi realizada seguindo Kaufmann *et al.* (1999).

Coleta de Macroinvertebrados Bentônicos

Em cada trecho de riacho as amostragens de macroinvertebrados bentônicos foram realizadas utilizando-se um coletor do tipo "kick net" (30 cm de abertura, 500 µm de tamanho da malha). Foram realizadas amostragens em um padrão de zig-zag ao longo dos onze transectos, totalizando 1m^2 de sedimento coletado por trecho [Peck *et al.* (2006)]. As amostras foram fixadas em campo com solução

de formol 10% e levadas para o laboratório. Os organismos foram triados e identificados em microscópios estereoscópicos sob o aumento de 32x. A identificação foi realizada ao nível de gênero, com o auxílio de chaves de identificação [Pérez (1988); Merritt *et al.* (2008); Mugnai *et al.* (2010)]. Foi calculada a riqueza taxonômica de gêneros de EPT de cada riacho amostrado.

Análise de conteúdo alimentar de macroinvertebrados bentônicos fragmentadores

Foram avaliados os conteúdos alimentares das larvas do gênero *Phylloicus* sp (Trichoptera: Calamoceratidae), considerado um típico fragmentador, em 15 riachos nas duas bacias (os únicos locais em que eles foram encontrados). Através da incisão do trato digestivo com auxílio de bisturi foram avaliados seis itens alimentares classificados segundo Cheshire *et al.* (2005) (matéria orgânica particulada grossa – MOPG, fina – MOPF, algas, tecido vegetal – raízes e partes vasculares, tecido animal – restos de outros animais e material mineral). O conteúdo do trato digestivo de cada larva foi diluído e distribuído em placa de Sedgewick-Rafter, sendo determinada sob microscópio a proporção de cada item em campos aleatórios da placa. As proporções dos itens alimentares foram relacionadas às métricas de habitats físicos pré-selecionadas.

ANÁLISE DOS DADOS

Para a determinação das métricas que melhor explicaram a riqueza taxonômica de macroinvertebrados e a proporção de itens alimentares nos tratos digestivos de lavas de *Phylloicus* sp foi realizada uma regressão linear múltipla RLM em cada bacia, por meio do método de melhores conjuntos ("best subsets") [Harrell (2001)]. Para a relação da riqueza de macroinvertebrados e os habitats físicos, limitou-se o modelo de cada bacia a quatro variáveis preditoras e o modelo combinado das duas bacias a oito variáveis preditoras, assim evitando a inflação dos modelos [Ferreira *et al.* (2014)]. Da mesma forma, foi realizada uma RLM para a analisar a relação entre cada tipo de conteúdo alimentar com as variáveis de habitats físicos [Ferreira *et al.* (2015)]. Como em apenas 15 riachos foram encontradas larvas de *Phylloicus* sp, limitou-se o modelo final a duas variáveis preditoras.

O critério de Akaike (*AICc*) foi aplicado para a seleção dos melhores modelos de RLM, sendo também utilizado para verificar se os modelos poderiam ser simplificados (uso de menos variáveis preditoras). Quando a diferença entre os valores de *AICc* entre dois modelos ($\Delta AICc$) foi ≤ 2, o modelo reduzido foi considerado equivalente e, desta forma, preferível [Harrell (2001)]. Para estas análises, nós usamos o Software Statistica for Windows [StatSoft Inc. (1984-2004), version 7].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O melhor modelo selecionado com base no critério de *AICc* para explicar a riqueza taxonômica de riachos a montante do reservatório de Nova Ponte apresentou três métricas preditoras (r^2 ajustado = 0,46; (1) largura média da margem – zona de deposição, (2) porcentagem de seixos, (3) tufos de algas e pequenos detritos orgânicos – galhos e troncos) enquanto que para os riachos a montante da bacia do reservatório de Três Marias o melhor modelo apresentou quatro métricas preditoras (r^2 ajustado = 0,53; (1) porcentagem de habitat com fluxo lento, (2) estabilidade relativa do leito – tamanho do substrato, (3) largura média da área inundável e (4) oxigênio dissolvido). O modelo combinado das duas bacias apresentou quatro métricas selecionadas pelo critério de *AICc* (r^2 ajustado

= 0,39; (1) largura média da margem – zona de deposição, (2) porcentagem de seixos, (3) declividade e (4) porcentagem de densidade da copa ripária) (Tabela 1).

Em relação à composição de itens alimentares no trato digestivo foram considerados apenas MOPF e MOPG. Os demais itens (algas, tecido vegetal, tecido animal e material mineral) foram raros nos tratos digestivos das larvas de *Phylloicus* sp e, portanto, não puderam ser explicados pelas variáveis ambientais. Em ambos os itens considerados o critério de *AICc* selecionou modelos com apenas uma variável explanatória. A métrica que mais explicou a proporção de MOPG nos tratos digestivos das larvas foi a proporção de tufos de algas e pequenos detritos (r^2 ajustado = 0,48) e a métrica que mais explicou a MOPF foi a cobertura riparia de vegetação de pequeno porte (r^2 ajustado = 0,50) (Tabela 1).

Tabela 1. Modelos de regressão linear múltipla (RLM), gerados a partir do método de melhores subconjuntos (*best subset*), mostrando as métricas que melhor explicaram a riqueza taxonômica de assembleias de EPT e a proporção de itens alimentares nos tratos digestivos de larvas de *Phylloicus* sp, um típico fragmentador, em riachos a montante dos reservatórios de Nova Ponte e Três Marias, MG.

Riachos amostrados	Modelo	Métricas de habitats físicos	Beta	Beta Std. Err.	Δ*AICc*
Montante da UHE Nova Ponte	Riqueza	Largura média da margem – zona de deposição (cm)	0,51	0,12	1,16
		Seixos e cascalhos (%)	0,32	0,12	
		Tufos de algas e pequenos detritos (%)	0,23	0,19	
		r^2 aj. = 0,46; $F_{(4.38)}$ = 12,19; $p < 0,001$			
Montante da UHE Três Marias	Riqueza	Habitat de fluxo lento (%)	-0,64	0,14	> 2
		Estabilidade relativa do leito – tamanho do substrato (mm)	0,33	0,11	
		Largura média da área inundável (m)	0,34	0,13	
		Oxigênio dissolvido (mg/L)	-0,36	0,14	
		r^2 aj. = 0,53; $F_{(4.39)}$ = 13,15; $p < 0,001$			
Combinado das bacias de Nova Ponte e Três Marias	Riqueza	Largura média da margem – zona de deposição (cm)	0,53	0,10	0,005
		Declividade	-0,19	0,10	
		Seixos e cascalhos (%)	0,26	0,10	
		Densidade da copa ripária	-0,20	0,10	
		r^2 aj. = 0,39; $F_{(8.79)}$ = 13,96; $p < 0,001$			
	MOPG	Tufos de algas e pequenos detritos (%)	-0,29	-0,71	0,78
		r^2 adj. = 0,48 $F_{(2, 14)}$ = 13,95			
	MOPF	Cobertura ripária - vegetação de pequeno porte (%)	0,12	0,73	0,76
		r^2 aj. = 0,50 $F_{(2, 14)}$ = 14,88			

As métricas que explicaram a riqueza taxonômica em cada bacia diferiram ligeiramente. Os coeficientes de determinação (valores de r^2) dos modelos gerados para cada bacia individualmente foram maiores do que o r^2 obtido pelo modelo que considerou conjuntamente as duas bacias corroborando nossa hipótese 1. Nossa hipótese 2 também foi corroborada, em que o modelo

combinado das duas bacias apresentou menor poder de explicação, o que sugere que os modelos gerados para grandes regiões podem ser melhorados incorporando informações ambientais específicas de cada bacia hidrográfica.

Considerando a relação dos tipos de itens alimentares com as variáveis ambientais, nossa terceira hipótese foi corroborada uma vez que a análise de regressão múltipla mostrou que a MOPF teve uma estreita relação com a presença de vegetação ripária. Isso comprova a importância do componente terrestre adjacente aos riachos como fonte de alimento para a macrofauna bentônica. Por outro lado, MOPG mostrou uma estreita relação com tufos de algas e pequenos detritos presentes no leito do rio, indicando a importância desses fatores como microhabitats de acumulação de matéria orgânica grossa, importante fonte de alimento para os fragmentadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso estudo mostrou a importância de fatores de habitats físicos locais para compreender a variação da riqueza de assembleias de EPT, bem como a importância que esses habitats representam para a determinação da alimentação dos macroinvertebrados fragmentadores em riachos no Cerrado.

Acreditamos que as informações contidas neste estudo possam ser úteis para a proposição de metodologias de avaliações ecológicas, medidas de conservação e manejo de riachos em cenários de secas atípicas como resultado de mudanças globais e estratégias de proteção da biota aquáticos no Cerrado brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho obteve financiamento do Programa P&D ANEEL/CEMIG GT-487, CEMIG-Programa Peixe Vivo, CAPES, CNPq e FAPEMIG. Colaborações de colegas da UFMG, UFLA, PUC-Minas e CEFET no levantamento dos dados em campo. Agradecemos ao colega Carlos Bernardo Mascarenhas Alves pelo gerenciamento logístico do projeto, e aos colegas Tony Olsen, Phil Larsen, Marc Weber, Curt Seeliger (US-EPA, Western Ecology Division) pelo auxílio no desenho amostral e cálculo das métricas de habitats físicos. Aos colegas Robert M. Hughes e Philip R. Kaufmann (US-EPA) pela parceria no desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

BONADA, N., PRAT, N., RESH, V.H., STATZNER, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol*. 51, 495–523.

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (1983). *Diagnóstico Ambiental do Estado de Minas Gerais*. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC. Série de publicações técnicas/spt-010, Belo Horizonte, Brasil.

CALLISTO, M., MORETTI, M., GOULART, M. (2001). Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 6:71–82.

CHAPMAN, L. J., CHAPMAN C. A. (2002). Tropical forest degradation and aquatic ecosystems: our current state of knowledge. Pages 237–249 *in* M. J. Collares-Pereira, I. G. Cowx, and M. M. Coelho (editors). Conservation of freshwater fishes: options for the future. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, UK.

CHESHIRE, K., BOYERO, L., PEARSON, R. G. (2005). Food webs in tropical Australian streams: shredders are not scarce. *Freshwat. Biol.* 50, 748-769.

DOHET, A., ECTOR, L., CAUCHIE, H., HOFFMANN, L. (2008). Identification of benthic invertebrates and diatom indicator taxa that distinguish different stream types as well as degraded from reference conditions in Luxembourg. Animal Biology 58:419–417.

FERREIRA, W. R., PAIVA, L. T., CALLISTO, M. (2011). Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a Neotropical watershed. *Brazilian Journal of Biology* 71, 15–25.

FERREIRA W.R., LIGEIRO R., MACEDO D.R., HUGHES R.M., KAUFMANN, P.R., OLIVEIRA L.G. and CALLISTO M. (2014). Importance of environmental factors on the richness and distribution of benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams. *Freshwater Science* 33, 860-871.

FERREIRA, W. R., LIGEIRO, R., MACEDO, D. R., HUGHES, R. M., KAUFMANN, P. R., OLIVEIRA, L. G., CALLISTO, M. (2015). Is the diet of a typical shredder related to the physical habitat of headwater stream in the Brazilian Cerrado? *Annales de Limnologie* 51, 115-124.

GOOGLE (2014). *Google Earth*. Google, Inc, Mountain View, CA.

HARRELL, F. E. 2001. Regression modeling strategies, with applications to linear models, logistic regression, and survival analysis. 1st edition. Springer-Verlag, New York.

HUGHES, R. M., HERLIHY, A. T., KAUFMANN P. R. (2010). An evaluation of qualitative indexes of physical habitat applied to agricultural streams in ten U.S. States. *Journal of the American Water Resource Association* 46, 792–806.

KAUFMANN, P.R., LEVINE P., PECK D.V., ROBISON, E.G., SEELIGER, C., HEALTH, N., DIVISION E.E.R.L.W.E. (1999). *Quantifying physical habitat in wadeable streams*. Environmental Monitoring and Assessment Program, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency.

KAUFMANN, P. R., FAUSTINI, J. M. (2012). Simple measures of channel habitat complexity predict transient hydraulic storage in streams. *Hydrobiologia* 685, 69–95.

LIGEIRO, R., FERREIRA, W., CASTRO, D., FIRMIANO, K. R., SILVA, D., CALLISTO, M. (2014). Macroinvertebrados bentônicos em riachos de cabeceira: múltiplas abordagens de estudos ecológicos em bacias hidrográficas. In *Condições Ecológicas em Bacias Hidrográficas de Empreendimentos Hidrelétricos*. Org. por CALLISTO, M., ALVES, C. B. M., LOPES, J. M. e CASTRO, M. A., ed. CEMIG, Belo Horizonte, MG, pp. 127 – 160.

MELODY, K. J., RICHARDSON, J. S. (2007). Riparian forest havesting and its influence on benthic communities of small streams of sub-boreal British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 37, 907–918.

MERRITT, R.W., CUMMINS, K.W., BERG, M.B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*, 3ª ed. Kendall Hunt Publishing Company, Dubuque, IA.

MORETTI, M.S., LOYOLA, R.D., BECKER, B., CALLISTO, M. (2009). Leaf abundance and phenolic concentrations codetermine the selection of case-building materials by Phylloicus sp.(Trichoptera, Calamoceratidae). *Hydrobiologia* 630, 199-206.

MUGNAI, R., NESSIMIAN, J., BAPTISTA, D. (2010). *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro*. Technical Books Editora, Rio de Janeiro, Brasil.

NERBONNE, B. A., VONDRACEK B. (2001). Effects of local land use on physical habitat, benthic macroinvertebrates, and fish in the Whitewater River, Minnesota, USA. *Environmental Management* 28, 87–99.

OLSEN, A.R., PECK, D.V. (2008). Survey design and extent estimates for the Wadeable Streams Assessment. *J. North Am. Benthol. Soc*. 27, 822–836.

PECK, D., HERLIHY, A., HILL, B., HUGHES, R., KAUFMANN, P., KLEMM, D., LAZORCHAK, J., MCCORMICK, F., PETERSON, S., RINGOLD, P., MAGEE, T., CAPPAERT, M. (2006). *Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study*: field operations manual for wadeable streams. EPA/620/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

PÉREZ, G.A.R. (1988). *Guía para el estúdio de los macroinvertebrados acuatico del Departamento de Antioquia*. Fondo Fen Colômbia, Universidad de Antioquia, Colciencias, Medelin, Colombia.

STEVENS, D.L., OLSEN, A.R. (2004). Spatially balanced sampling of natural resources. *J. Am. Stat. Assoc*. 99, 262–278.

STRAHLER, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys.*, 38,913-920.