

# ÍNDICE BIÓTICO BENTÔNICO NO BIOMONITORAMENTO DA BACIA DO RIO DAS VELHAS

*Wander Ribeiro Ferreira<sup>1</sup>; Lurdeemar Tavares Paiva<sup>2</sup>; Marcos Callisto<sup>3</sup>*

**RESUMO** – Índices bióticos bentônicos são importantes ferramentas na avaliação da qualidade de água em Programas de Biomonitoramento de bacias hidrográficas. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade de água no Programa de Biomonitoramento da bacia do Rio das Velhas através da aplicação do Índice Biótico Bentônico. Foram avaliadas 21 estações amostrais (8 na calha do rio e 13 nos tributários) em 4 coletas anuais de junho de 2004 a novembro de 2007. Para a composição do índice foram selecionadas as métricas: Riqueza de famílias, % Oligochaeta, % Chironomidae + Oligochaeta, % EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), % Coletores-catadores e índice BMWP-CETEC. A agregação das métricas (scores) foi dividida para estabelecimento do critério de qualidade de água (escore de 6-12 – águas de qualidade ruim; 13-18 – regular; 19-24 – bom; 25-30 – muito bom, águas de excelente qualidade). Foram realizadas 317 avaliações da qualidade de água, e os resultados mostraram que 48% apresentaram águas de excelente qualidade, 14% boa, 19% regular e 19% de qualidade ruim. Esta metodologia contribuirá como ferramenta na avaliação da qualidade de água no Programa de Biomonitoramento de bacias hidrográficas e subsidiará com informações para a implementação na gestão da bacia do Rio das Velhas no Estado de Minas Gerais.

**ABSTRACT** – Benthic biotic indices are important tools in assessing the water quality in Biomonitoring Program of river basins. The aim of this study was to evaluate the quality of water in the Biomonitoring Program of the Rio das Velhas basin through the application of benthic biotic index. We evaluated 21 sampling stations (8 in the main river and 13 in the tributaries) in 4 samplings per year from June 2004 to November 2007. For the composition of the index were selected metrics family richness, % Oligochaeta, % Chironomidae + Oligochaeta, % EPT (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera), % Gattering-collectors and BMWP - CETEC index were selected. The metrics aggregation (scores) were divided to establish the criteria for water quality (score of 6-12, poor water quality; 13-18, regular; 19-24, good; 25-30, very good, water of excellent quality). We performed 317 assessment of water quality, the results showed that 48% were of excellent water quality, 14% good, 19% regular, and 19% poor quality. This methodology will help as a tool in the assessment of water quality in the biomonitoring of watersheds and subsidize with information the implementation for the management of the Rio das Velhas basin in the Minas Gerais State.

**Palavras-chave:** Índices multimétricos, Biomonitoramento, Qualidade de água.

1) Msc, UFGM, ICB, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901 Belo Horizonte. E-mail: Wander@icb.ufmg.br

2) Grad. UFG, ICB, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901 Belo Horizonte. E-mail:

3) Professor associado, UFGM, ICB, Av. Antônio Carlos, 6627, 31270-901 Belo Horizonte. E-mail: callistom@ufmg.br

## INTRODUÇÃO

Biomonitoramento é definido como o uso sistemático de respostas de organismos para avaliar mudanças no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas, Rosenberg e Resh (1993), Buss *et al.* (2003). Dentre os múltiplos impactos antrópicos são observados: eutrofização artificial, assoreamento, homogeneização do leito dos rios, construção de barragens, retirada da vegetação ripária e introdução de espécies exóticas, Goulart e Callisto (2003), Souza e Tundisi (2003), Hall *et al.* (2006).

Diversos pesquisadores da Europa e dos Estados Unidos têm utilizado os macroinvertebrados aquáticos no desenvolvimento desses índices como ferramenta eficiente na avaliação da qualidade ambiental de bacias hidrográficas: BMWP – *Biological Monitoring Working Party* - Reino Unido, Armitage *et al.* (1983); RIVPACS – *River Invertebrate Prediction and Classification System*, Wright e Armitage (1993); AusRivAS – *Australian River Assessment Scheme*, Smith *et al.* (1999) e IBI – *Integrited Biotic Index* - EPA-USA, Stoddard *et al.* (2005). Estes índices são baseados, por exemplo, na estrutura comunidades de macroinvertebrados bentônicos e no seu grau de tolerância aos diferentes níveis de poluição, Yuan (2004).

Estudos científicos que visam avaliar a qualidade de água com base nos macroinvertebrados bentônicos bioindicadores estão sendo cada vez mais utilizados para diagnosticar espaço temporalmente os impactos em ecossistemas aquáticos, Wright e Armitage (1993), Wright *et al.* (1996), Oz e Sengorur (2004), Callisto e Moreno (2005), Semenchenko e Moroz (2005), Walsh (2006).

Segundo Rosenberg e Resh (1993), um bioindicador “ideal” deve possuir as seguintes características:

- ser sensível aos diferentes impactos de maneira gradual e em função da intensidade e magnitude;
- ser abundante na maioria dos ecossistemas aquáticos;
- ser de fácil amostragem e apresentar reduzido custo de processamento;
- possuir ciclo de vida longo e responder espaço-temporalmente aos impactos;
- ser de fácil identificação;
- ser relativamente sedentário e de ampla distribuição;
- ter possibilidade de uso em estudos ecotoxicológicos.

Neste contexto a utilização de ferramentas como índices bióticos bentônicos e abordagens multimétricas para avaliar a qualidade de água em programas de monitoramento de ecossistemas aquáticos vêm recebendo especial atenção e são registrados na literatura internacional. Alba-Tercedor *et al.* (2002) através do índice BMWP avaliaram a qualidade das águas em bacias

hidrográficas Mediterrâneas na Península Ibérica. Oz e Sengorur (2004) através dos índices BMWP, TBI (Trent Biotic Index) e BBI (Belgium Biotic Index) no Melen River e seus tributários na Turquia. Barbour *et al.* (1996) utilizaram índices multimétricos (% Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, % predadores e outros) em riachos na Flórida (USA). Além destes, merecem destaque os estudos de Armitage *et al.* (1983), Armitage *et al.* (1987) e Cao *et al.* (1997) no Reino Unido; Semchenko e Moroz (2005) – República de Belarus, ex-República da antiga União Soviética; Astin (2006) e Birk e Hering (2006) – nos USA, Dahl *et al.* (2004) – Suécia e Zamora-Muñoz *et al.* (1995) na Espanha.

A bacia hidrográfica do Rio das Velhas é uma das mais importantes não somente pelo volume de água que é transportado, mas pelo seu potencial hídrico de aproveitamento. Entretanto, a intensa pressão antrópica na bacia devido ao processo de urbanização tem alterado negativamente sua qualidade ambiental. Como consequência dessa pressão, observa-se expressiva perda da qualidade da água resultando em mudanças nas características físicas e químicas e conseqüente queda da biodiversidade aquática em diversos trechos da bacia, Callisto *et al.* (2005).

O presente estudo foi realizado com base na metodologia desenvolvida por Barbour *et al.* (1996) que utilizaram métricas bióticas bentônicas para avaliar a qualidade de água, e direcionado com base nas seguintes perguntas: (1) O índice biótico utilizado reflete a intensidade e magnitude da pressão dos impactos antrópicos na bacia do Rio das Velhas?; (2) A estrutura e composição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos corroboram as condições ecológicas na bacia avaliada por um Protocolo de Caracterização Rápida de Condições Ecológicas em Trechos de Bacias Hidrográficas que considera, dentre outros, o tipo de cobertura vegetal no leito do rio, tipo de fundo, deflorestamento, tipo de ocupação das margens?; (3) Com o índice utilizado é possível distinguir trechos de rios em condições de referência e os impactos antrópicos na bacia do Rio das Velhas?

## ÁREA DE ESTUDO

O Rio das Velhas é o maior afluente em extensão da bacia do rio São Francisco. É orientado aproximadamente no sentido sudeste para noroeste, tendo sua nascente no município de Ouro Preto, na serra do Veloso e deságua no rio São Francisco, 36 km a jusante do município de Pirapora - MG, a jusante da barragem de Três Marias. Possui 801 km de extensão, drenando uma área de 29.173 km<sup>2</sup>, Paz *et al.* (2008). Devido à ausência de obstáculos naturais e barragens, o Rio das Velhas guarda um elevado grau de conectividade com a região do médio São Francisco, entre as barragens de Três Marias e Sobradinho. Assim, este afluente representa uma importante rota potencial para a migração das espécies de piracema da bacia.

A Bacia do Rio das Velhas abrange 51 municípios e possui aproximadamente 4,5 milhões de habitantes. Estes municípios têm uma importância econômica (42% do PIB mineiro) e social significativa devido à sua localização que inclui a maior parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, Polignano *et al.* (2001), Moreno *et al.* (2009), Paz *et al.* (2008) e é dividido em alto, médio e baixo curso (Figura 1).

Atualmente, o rio é bastante prejudicado na sua porção alta (próximo à Região Metropolitana de Belo Horizonte), face a uma variada gama de impactos que vem sofrendo ao longo dos anos. Por receber grande parte de esgotos domésticos, efluentes industriais e de mineração da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), o Rio das Velhas vem sofrendo um acelerado e crescente processo de degradação, Polignano *et al.* (2001), Moreno *et al.* (2009). Entre os principais impactos podem ser citados, Callisto *et al.* (2005), Muzzi e Stehmann (2005):

1. Atividades industriais, principalmente de mineração.
2. A poluição pelos despejos de esgotos domésticos não tratados da Região Metropolitana de Belo Horizonte.
3. Retirada das matas ciliares que protegem os rios do assoreamento.
4. A construção de barragens para geração de energia elétrica e abastecimento.

A introdução de espécies exóticas nas suas sub-bacias, como tucunaré, trairão e tilápia. Estas espécies além de prejudicarem as espécies nativas através da competição por alimento, locais de desova e de crescimento de alevinos, ou mesmo, pela predação de ovos, jovens e adultos das espécies naturais dos rios.

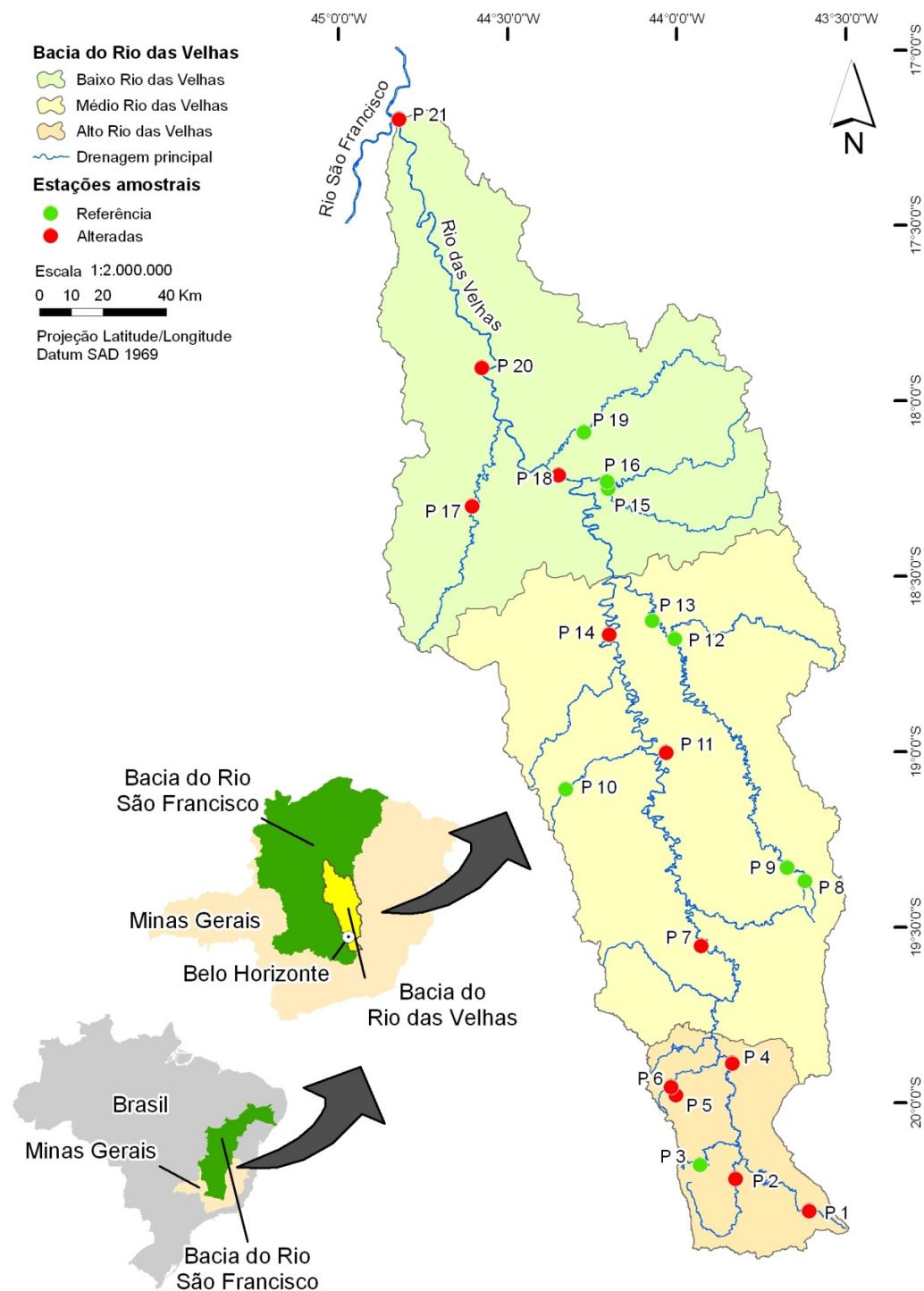


Figura 1. Mapa das estações de amostragem na bacia do Rio das Velhas (Laboratório NUVELHAS - Projeto Manuelzão/UFMG).

## METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em 21 estações amostrais (8 na calha principal do rio, 13 nos tributários), 4 vezes ao ano (duas no período chuvas – novembro e fevereiro e duas no período de

estiagem – maio e agosto, exceto para o ano de 2004 que foram realizadas apenas 3 campanhas) de junho de 2004 a novembro de 2007. No total, foram coletadas 945 amostras de bentos com auxílio de um amostrador tipo Surber em 15 períodos de coletas.

As áreas de referência foram definidas segundo Moreno *et al.* (2009) trechos de rios que têm suas nascentes em unidades de proteção como Parques Nacionais e APAs e áreas com o mínimo de distúrbio avaliadas pelo Protocolo de Caracterização proposto por Callisto *et al.* (2002), onde os trechos avaliados possuem habitat suficiente para a manutenção de organismos aquáticos bentônicos e os valores de parâmetros físico-químicos estivessem dentro dos níveis estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece os valores de tolerância para águas classe 1 (P-total 0,1 mg/L; N-total 2,18 mg/L; oxigênio dissolvido não inferior a 6,0 mg/L O<sub>2</sub>).

Foram realizados testes estatísticos de Mann-Whitney para teste da sensibilidade das métricas, Kruskal-Wallis para a verificação de diferenças das métricas selecionadas nos períodos sazonais de chuva e estiagem, correlação de Spearman para verificação de pares de métricas redundantes (correlação  $\geq 0.75$ ) com o auxílio de um programa Statistica for Windows 2007 e correlação de Pearson (se positiva ou negativa) entre as métricas selecionadas para compor o Índice Biótico Bentônico e variáveis físicas e químicas com auxílio do programa Excel – Office 2007.

### **Caracterização Ecológica dos Trechos Estudados**

Para a classificação da qualidade ambiental dos trechos estudados ao longo da bacia foi utilizado um Protocolo de Caracterização Rápida de Condições Ecológicas de Trechos de Bacias Hidrográficas, proposto por Callisto *et al.* (2002). O protocolo avalia um conjunto de parâmetros em categorias descritas tais como: tipo de fundo, cobertura vegetal no leito dos rios e outros, em que são atribuídos valores (pontos) para diferentes condições destes parâmetros. O valor final do protocolo é obtido a partir do somatório dos valores atribuídos a cada parâmetro independentes e as pontuações finais refletem o nível de preservação das condições ecológicas dos trechos de bacias estudadas, onde de 0 a 40 pontos representam trechos impactados; 41 a 60 pontos representam trechos alterados; acima de 61 pontos, trechos naturais.

### **Parâmetros Físicos e Químicos**

Os parâmetros físicos e químicos foram mensurados na coluna d'água utilizando-se aparelhos de campo portáteis da marca Digimed modelos DM2 e DM3: temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e sólidos totais dissolvido, oxigênio dissolvido pelo método de Winkler, Golterman *et al.* (1978). Análises de nutrientes (N-total e P-total) foram realizadas segundo os métodos: Fósforo total, Strickland e Parsons (1960) e Nitrogênio total, Mackereth *et al.* (1978).

## Macroinvertebrados Bentônicos

Durante as campanhas de campo foram coletadas 3 amostras de sedimento em cada estação amostral utilizando-se um amostrador do tipo Surber (0,09m<sup>2</sup> de área e malha de medidas 0,25 mm) para o estudo das comunidades de macroinvertebrados bentônicos e uma amostra total para análise da composição granulométrica e teores de matéria orgânica. As amostras foram lavadas sobre peneiras de 1,00 e 0,50mm, e triadas com auxílio de microscópio estereoscópico, sendo os macroinvertebrados bentônicos identificados ao nível de família exceto para alguns moluscos, anelídeos e crustáceos com auxílio de chaves de identificação, Merritt e Cummins (1996), Pérez (1988), Wiggins (1996), Ward *et al.* (2002), Pés *et al.* (2005) e depositados na Coleção de Referência de Macroinvertebrados Bentônicos do ICB/UFMG segundo a metodologia descrita por França e Callisto (2007). A determinação da composição granulométrica dos sedimentos foi realizada segundo metodologia de Suguio (1973), modificada por Callisto e Esteves (1996). Para a determinação dos teores de matéria orgânica, alíquotas de 0,3g foram calcinadas a 550 °C em forno mufla por 4 horas.

## Seleção de Métricas Bentônicas

Para este estudo foram avaliadas 30 métricas para a obtenção do índice de avaliação da qualidade de água na bacia do Rio das Velhas. As métricas foram selecionadas levando em consideração os aspectos ecológicos das comunidades de macroinvertebrados bentônicos e suas respostas frente aos diferentes impactos nos ecossistemas aquáticos (Tabela 1).

## Sensibilidade das Métricas

A sensibilidade das métricas foram testadas de acordo com a metodologia proposta por Barbour *et al.* (1996), através do teste de Mann e Whitney e utilizou-se gráficos do tipo “box-plot” para distinguir as estações de referência das estações alteradas. A sensibilidade foi estabelecida de acordo com o grau de sobreposição dos interquartis (caixas maiores da representação gráfica dos dados) dos “box-plots” das métricas avaliadas na comparação de trechos de referência com trechos impactados (Figura 2). Foram atribuídos 5 valores de sensibilidade para as métricas. O escore 3 representa a maior sensibilidade por representar as maiores diferenças na composição de macroinvertebrados entre trechos de referência e trechos alterados, foi atribuído quando não havia sobreposição dos interquartis das métricas (Figura 2-A). O escore 2 foi atribuído quando havia sobreposição dos interquartis, mas sem sobreposição com as medianas (Figura 2-B). O escore 1 foi atribuído quando havia sobreposição dos interquartis e somente uma das medianas (Figura 2-C). O escore 0 foi atribuído quando havia total sobreposição dos interquartis e somente uma das medianas (Figura 2-D) e quando havia total sobreposição dos interquartis e ambas as medianas (Figura 2-E).

Tabela 1. Métricas selecionadas e a predição de respostas frente a perturbações nos ecossistemas aquáticos (Barbour *et al.*, 1996; Baptista *et al.*, 2007) (EPT – Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera; % CHOL – Chironomidae + Oligochaeta; BMWP - *Biological Monitoring Working Party*; ASPT – *Average Score Per Taxon*; CETEC – Centro Tecnológico de Mina Gerais; Col - Colômbia).

Categorias	Métricas	Predições das respostas frente aos impactos	Observações
Medidas de Riqueza	Riqueza (número de <i>taxa</i> )	Decresce	Altos valores são relativos a ambientes com águas de boa qualidade e habitats suficientes para sustentabilidade da macrofauna
	<i>taxa</i> Ephemeroptera	Decresce	
	<i>taxa</i> Plecoptera	Decresce	
	<i>taxa</i> Trichoptera	Decresce	
	<i>taxa</i> Coleoptera	Decresce	
	<i>taxa</i> EPT	Decresce	
	diversidade de Shannon-Wiener	Decresce	
Medidas de tolerância	Equitabilidae	Decresce	O número indica o grau de sensibilidade dos organismos aos diferentes tipos e níveis de impactos antrópicos
	BMWP-CETEC	Decresce	
	ASPT-CETEC	Decresce	
	BMWP-Col	Decresce	
	ASPT-Col	Decresce	
	EPT/Chironomidae	Decresce	
Medidas da composição	Baetidae/Ephemeroptera	Aumenta	Abundância relativa de uma determinada família ou grupo em relação a fauna total
	% Chironomidae	Aumenta	
	% Oligochaeta	Aumenta	
	% CHOL	Aumenta	
	% EPT	Decresce	
	% Ephemeroptera	Decresce	
	% Plecoptera	Decresce	
	% Trichoptera	Decresce	
	% Coleoptera	Decresce	
	% Diptera	Aumenta	
	% Odonata	Aumenta	
	% Gastropoda	Decresce	
Medidas tróficas	% coletores-filtradores	Decresce	Abundância relativa de organismos de acordo com sua estratégia alimentar na estrutura trófica das assembléias de macroinvertebrados
	% coletores-catadores	Variável	
	% fragmentadores	Decresce	
	% raspadores	Decresce	
	% predadores	Variável	

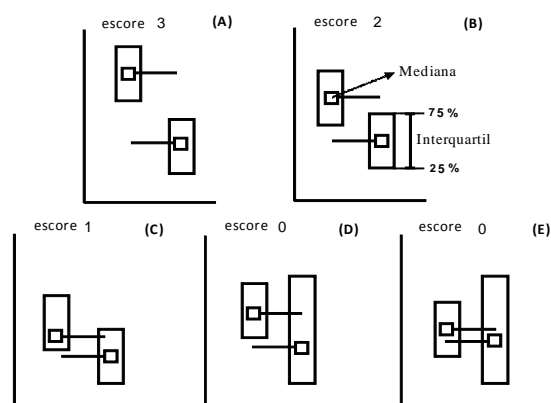


Figura 2. Escores da sensibilidade das métricas de acordo com os critérios proposto por Barbour *et al.* (1996). Box-plots (quadrados menores representam as medianas e caixas maiores representam os interquartis de 25-75%). Figura 2A (escore 3) - maior sensibilidade; Figura 2B (escore 2); Figura 2C (escore 1); Figuras 2D e 2E (escore 0).



## Critérios de Desenvolvimento de Escores para a Avaliação de Perturbações Antrópicas

Foram atribuídos 3 escores padrão (1; 3 e 5) para cada métrica selecionada quando da avaliação das perturbações atribuídas aos pontos de amostragem. Às métricas em que são esperadas diminuição dos valores em resposta ao aumento do impacto ou perturbação foram atribuídos escore 5 para os valores acima do quartil de 25%, escore 3 para os valores entre a média e o quartil de 25% e escore 1 para os valores entre o mínimo e o valor médio (Figura 3-A). Às métricas em que são esperadas seu aumento em resposta ao aumento do impacto ou perturbação, foi atribuído escore 5 para os valores abaixo do quartil de 75%, escore 3 para os valores médios entre o valor máximo e o quartil de 75% e escore 1 para os valores entre o valor médio e o valor máximo acima do quartil de 75% (Figura 3-B). Assim utilizando o quartil apropriado como limite, o escore 5 representa o valor máximo dos valores de referência; o escore 3 representa uma condição intermediária; e o escore 1 representa o valor máximo do desvio dos valores de referência (Figura 3).

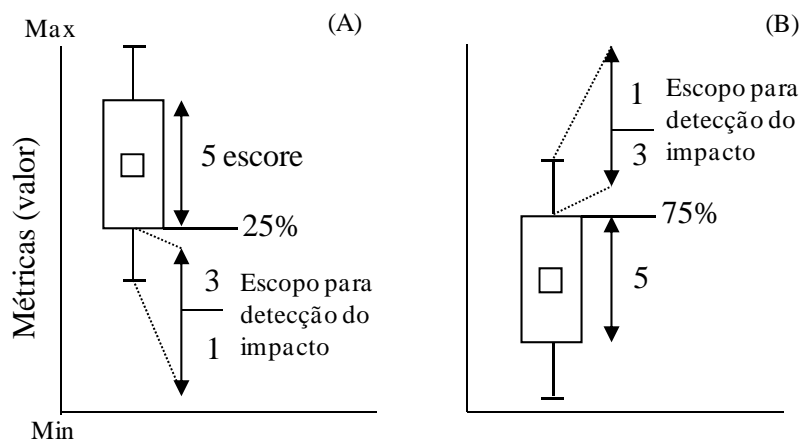


Figura 3. Critérios para estabelecimento dos escores das métricas para detecção de impacto antrópico: (a) métricas que diminuem os valores em resposta ao aumento dos impactos antrópicos e escore 5 representa os valores encontrados acima do percentil de 25%; (b) métricas que aumentam os valores com o aumento dos impactos antrópicos e o escore 5 representa os valores abaixo do percentil de 75%. Quadrados menores representam os valores medianos e os boxes representam os interquartis (percentil de 25-75%), modificado de Barbour *et al.* (1996).

## RESULTADOS

Do total, 47,6% dos trechos apresentaram valores do Protocolo de Caracterização Rápida de Condições Ecológicas em Trechos de Bacias Hidrográficas que variaram de 62 a 87 pontos, caracterizando-os como bem preservados ou naturais. 38,1% dos trechos apresentaram valores do protocolo 42 a 60 pontos caracterizando-os como alterados e 14,3% dos trechos da bacia apresentaram valores que variaram de 33 a 40 pontos, caracterizando-os como impactados, devido à

perda de habitats, assoreamento do leito, presença de esgotos *in-natura* e deflorestamento de mata ciliar (Figura 4).

As análises de P-total na coluna d'água mostraram que 71,4% das estações de amostragem apresentam os valores abaixo do limite de tolerância para águas de classe 1 (0,1 mg/L). Os valores de oxigênio dissolvido variaram de 3,8 a 7,8 mg/L, sendo que 71,4% das estações amostrais obtiveram valores acima de 6,0 mg/L e 9,5% apresentaram valores abaixo de 4,0 mg/L.

### Composição Granulométrica dos Sedimentos

A análise da composição granulométrica dos sedimentos na bacia do Rio das Velhas evidenciou a predominância de sedimentos grosseiros como seixos e cascalhos em 66,7% das estações de amostragem. As estações P1, P19, P12 e P13 apresentaram valores médios acima de 40% de seixos seguidos por cascalho. Nas estações de amostragem P7, P11 e P18, que representam 14,3%, apresentaram predominância de sedimentos finos sendo os maiores valores de areia muito fina (AMF) seguido de silte e argila e 19% das estações P2, P4, P16 e P20 apresentaram a composição granulométrica mais heterogênea evidenciando a presença de sedimentos variando entre frações grossas, médias e finas (Figura 4).

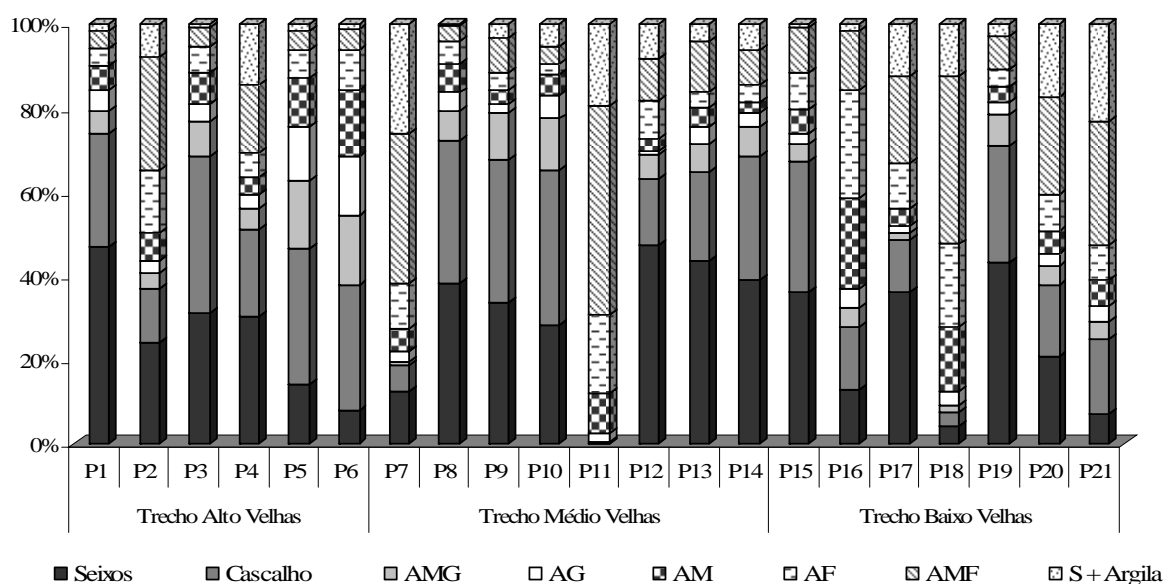


Figura 4. Composição granulométrica dos sedimentos ao longo da bacia do Rio das Velhas, analisada no período de junho de 2004 a novembro de 2007 (AMG – areia muito grossa, AG – areia grossa, AM – areia média, AF – areia fina, AMF – areia muito fina e S – silte).

### Sensibilidade das Métricas

Das 30 métricas avaliadas, apenas 3 não foram estatisticamente diferentes ( $p > 0,05$ ): % Chironomidae ( $p = 0,5668$ ), % Diptera ( $p = 1,000$ ) e % Gastropoda ( $p = 0,2905$ ). Vinte e uma

métricas foram consideradas sensíveis (escore 3) pela a análise de box-plot e estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Mann e Whitney (Figura 5). Destas, 15 métricas foram consideradas válidas representando a maiores diferenças entre áreas de referência e alteradas (score 3 de sensibilidade de acordo com a metodologia) e consideradas com potencial para compor o Índice Biótico Bentônico da bacia do Rio das Velhas. Entretanto, foram selecionadas 6 métricas (Riqueza; % Oligochaeta; % CHOL; % EPT; % Coletores-catadores e BMWP - CETEC) para o estabelecimento do IBB levando em conta as métricas que obtiveram os maiores valores no teste de Mann-Whitney.

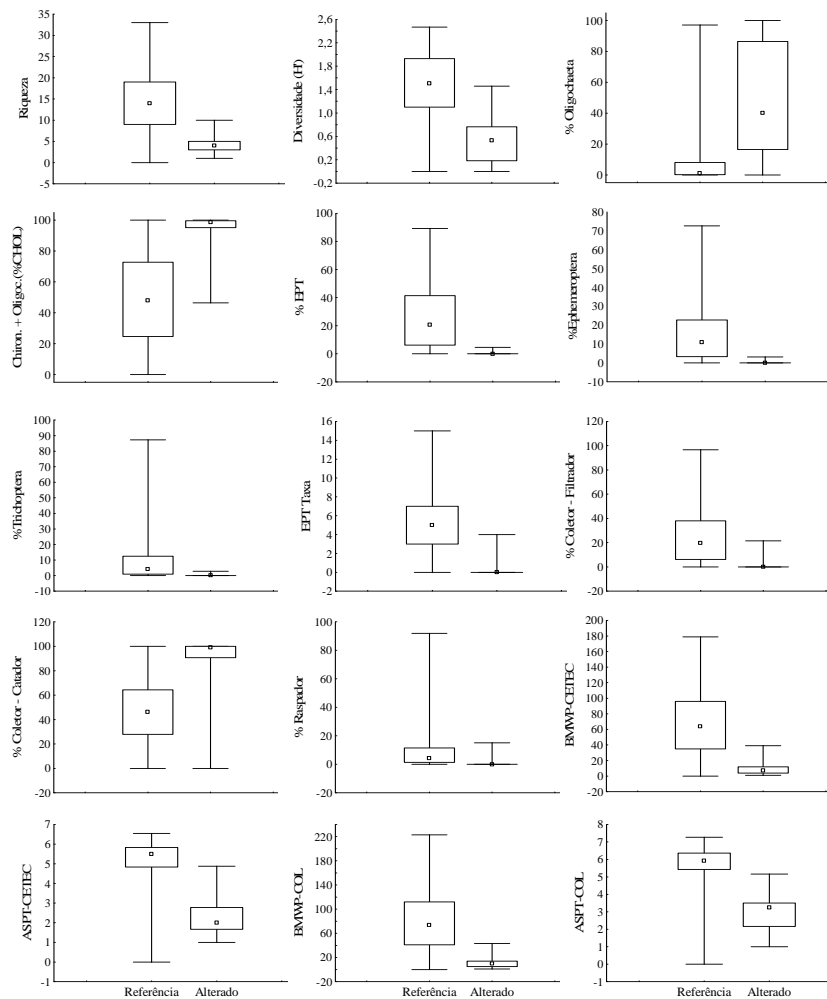


Figura 5. Box-plot das métricas sensíveis (escore 3) válidas para distinguir entre trechos de referência e alterados na bacia do Rio das Velhas.

### *Desenvolvimento do Índice Biótico Bentônico*

A Tabela 2 apresenta as métricas selecionadas para a composição do Índice Biótico Bentônico, a estatística descritiva dos valores padrão das métricas e escores padrão para o estabelecimento dos níveis de qualidade de água.

Tabela 2. Valores padrão de cada métrica dos Índices Bióticos Bentônicos na bacia do Rio das Velhas, MG (BMWP - *Biological Monitoring Working Party*; CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais; Col. - Colombia).

Métricas/Referência	Estatística descritiva/Valores dos Box-plots					Escores		
	Mínimo	25%	50%	75%	Máximo	5	3	1
Riqueza	1,0	9,0	14,5	20,0	33,0	≥9	8-6	≤5
% Oligochaeta	0	0,1	1,0	5,0	97,0	≤5	6-46	≥47≤97
% CHOL	1,0	26,1	48,2	73,0	100,0	≤73	74-86	≥87≤100
% EPT	0,6	6,2	20,8	40,0	75,0	≥6	5-3	≤2
% Coletores -catadores	1,4	28,6	48,2	64,0	99,0	≤64	65-83	≥84≤99
BMWP-CETEC	1,0	36,0	66,0	97,0	179,0	≥36	35-18	≤17

O valor limite foi calculado pela agregação dos escores de cada métrica e determinados pelo mínimo e máximo dos escores no intervalo de 6 a 30. Em seguida os valores limites estabelecidos da agregação dos escores de cada métrica foram divididos para o estabelecimento das 4 categorias de qualidade de água: **Muito boa: 25-30**, águas de excelente qualidade e condições ecológicas de referência; **Boa: 19-24**, águas com reduzido grau de alteração com características ecológicas de boa qualidade; **Regular: 13-18**, águas com considerável grau de alteração comprometendo o estabelecimento de muitos organismos bentônicos sensíveis a poluição e **Ruim: 6-12**, que representam águas com alto grau de impacto com presença de esgotos domésticos, reduzidos teores oxigênio dissolvido e *habitats* degradados favorecendo à colonização de organismos resistentes como dípteros principalmente da família Chironomidae, além de Oligochaetas.

#### *Diagnóstico da Qualidade das Águas na Bacia do Rio das Velhas com Base nos Índices Bióticos Bentônicos*

Foi aplicado o Índice Biótico Bentônico em 16 estações de amostragem em setembro de 2003 e fevereiro de 2004 e em 21 estações de amostragem incluindo as estações de referência e estações alteradas na bacia do Rio das Velhas. No total 48 % apresentaram águas de excelente qualidade (**Muito boa**), 14 % de boa qualidade (**Boa**), 19 % de qualidade regular (**Regular**) e 19 % de águas de qualidade ruim (**Ruim**). A qualidade das águas foi também avaliada através dos valores médios dos escores em cada ano de coleta no período de setembro de 2003 a novembro de 2007 (Figura 6).

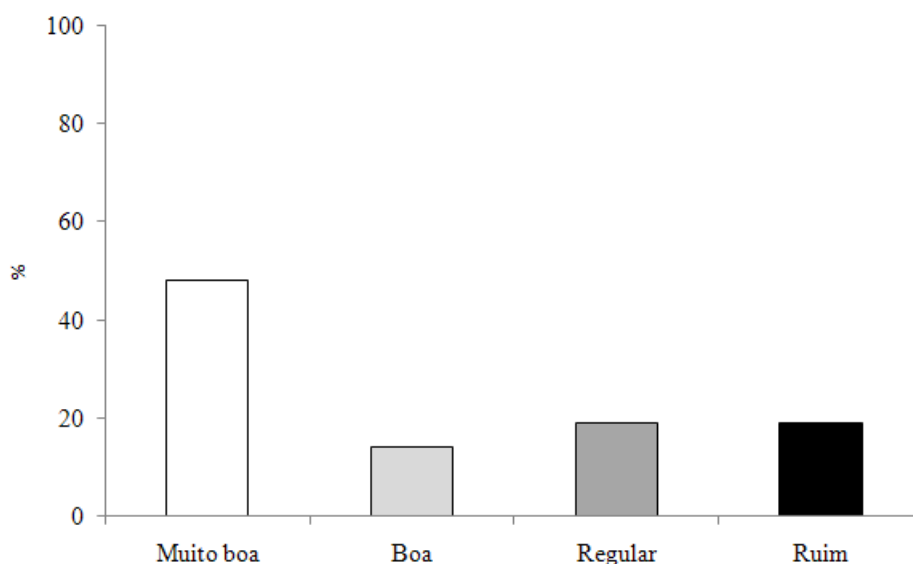


Figura 6. Diagnóstico da qualidade de água dos 21 pontos de amostragem na bacia do Rio das Velhas obtidos através do Índice Biótico Bentônico nos períodos de 2003 a 2007.

## DISCUSSÃO

Dentre as métricas utilizadas para compor o índice, por exemplo, a riqueza taxonômica segundo Babbista *et al.* (2007) é uma métrica que reflete a diversidade (número de *taxa*) de organismos aquáticos e é relacionada com a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Outra métrica considerada neste estudo, % EPT consiste na agregação do número dos *taxa* de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera e o quanto a sua abundância representa em relação a fauna total encontrada nas estações de amostragem. Indivíduos dessas ordens de insetos aquáticos devido a sua sensibilidade as perturbações de seus habitats, são utilizados para avaliar impactos na qualidade de água de ecossistemas aquáticos oriundos de ações antrópicas como, por exemplo, lançamento de esgotos em cursos d'água.

No desenvolvimento deste estudo as métricas utilizadas para compor o índice adequaram-se bem na distinção entre áreas de referência e impactadas, e permitiu também distinguir uma situação intermediária que seria pouco alterada pelas ações antrópicas corroborando outros estudos realizados no sudeste do Brasil e em outros países. Como por exemplo, Barbour *et al.* (1996) avaliaram a qualidade das águas de córregos na Flórida através do desenvolvimento da metodologia que utiliza um índice multimétrico bentônico. Pinto *et al.* (2004) desenvolveram o índice IM9 com base nos índice multimétrico bentônico para avaliar a qualidade das águas de córregos Mediterrâneos em Portugal. Baptista *et al.* (2007) também utilizaram a abordagem de índices multimétricos na adaptação da metodologia proposta por Barbour *et al.* (1996) no desenvolvimento do Índice Multimétrico da Serra dos Órgãos (SOMI) para avaliação da qualidade de água de córregos na região de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro.

Nesse contexto Índice Biótico Bentônico da bacia do Rio das Velhas adaptado de Barbour *et al.* (1996) que também utiliza uma abordagem multimétrica, diferenciaram-se nas métricas bentônicas utilizadas para a avaliação da qualidade de água de áreas naturais, intermediárias e impactadas. No desenvolvimento do SOMI por Baptista *et al.* (2007), as métricas bentônicas % Diptera, % Coleoptera e % fragmentadores tiveram importante contribuição na avaliação da qualidade de água, o que não aconteceu na bacia do Rio das Velhas. Apesar de estes grupos terem importância para a estrutura das comunidades, não tiveram sensibilidade suficiente para diferenciar áreas de referência e áreas impactadas, sendo, portanto excluídos no desenvolvimento do Índice. Vale ressaltar que o SOMI foi desenvolvido na região onde o bioma predominante é Mata Atlântica. Cummins *et al.* (2005) mostraram a forte ligação dos macroinvertebrados bentônicos fragmentadores com a vegetação ripária em riachos de Mata Atlântica no Estado do Paraná. Na bacia do Rio das Velhas, a vegetação predominante é o Cerrado, Muzzi e Stehman (2005) e o papel dos coletores-catadores teve maior importância como integrante das métricas para a avaliação da qualidade de água. A métrica % Chironomidae teve importância quando agregada à métrica % Oligochaeta, provavelmente por causa da ampla distribuição da família Chironomidae ao longo da bacia do Rio das Velhas.

A combinação dos resultados obtidos com a utilização do Protocolo de Caracterização Rápida, mensuração dos parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimentos e a aplicação do Índice Biótico Bentônico, evidenciam os impactos na bacia em consequência da urbanização, tendo como principal fonte de impacto direto o lançamento de esgoto. Estes impactos corroboram as respostas do Índice aplicado na bacia do Rio das Velhas e pode ser observado em vários trechos estudados na bacia.

Em relação à análise da composição granulométrica dos sedimentos na bacia do Rio das Velhas, foi evidenciado que os trechos onde foram encontradas maior variabilidade granulométrica com predominância de sedimentos grosseiros, como seixos e cascalho, apresentaram maior abundância de macroinvertebrados bentônicos, exceto nos trechos onde a qualidade físico-química das águas apresentaram características de ambientes impactados, como na Região Metropolitana de Belo Horizonte e trechos no médio Rio das Velhas onde foram encontrados os maiores teores de N-total e P-total e baixas concentrações de oxigênio dissolvido em consequência das cargas de esgotos domésticos e industriais.

No decorrer desse estudo foi possível observar maior representatividade das métricas não relacionadas ao aumento dos impactos ao longo da bacia desde o trecho alto até o trecho baixo corroborando as respostas do Índice Biótico Bentônico proposto para este estudo. Isso sugere uma possível melhora nas condições ambientais relacionadas à diminuição nas concentrações de nutrientes e mudanças de alguns parâmetros físicos e químicos. Vale ressaltar que nos trechos

médio e baixo do Rio das Velhas, vários tributários como o córrego das Pedras no PARNA da Serra do Cipó, em condições de referência e águas de excelente qualidade, contribuem para a melhora da qualidade das águas na bacia.

Neste estudo constatou-se que em vários tributários e alguns trechos da calha do rio, a presença de vários *taxa* com baixa tolerância a poluição (ex. larvas de Trichoptera, ninfas de Plecoptera e Ephemeroptera) propiciam o desenvolvimento de uma gama de métricas bióticas com potencial capacidade de responder às alterações nos ecossistemas aquáticos, Wright e Armitage (1993), Buss *et al.* (2003), Stoddard *et al.* (2005) e propiciam também o desenvolvimento de índices bióticos bentônicos na avaliação da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos, Barbour *et al.* (1996), Baptista *et al.* (2007).

Dentre as métricas avaliadas, seis foram selecionadas para integrar o Índice Biótico Bentônico da bacia do Rio das Velhas, e com a metodologia aplicada na seleção das métricas, assumiu-se que essas métricas garantiriam as respostas da dimensão do estado ecológico da bacia corroborando estudos semelhantes como, por exemplo, Barbour *et al.* (1996), Pinto *et al.* (2004) e Baptista *et al.* (2007).

Os resultados obtidos no desenvolvimento deste estudo mostram a importância do Índice Biótico Bentônico como ferramenta no Programa de Biomonitoramento da bacia do Rio das Velhas, um dos principais tributários da bacia do rio São Francisco no sudeste do Brasil. Os dados desta dissertação possibilitaram o acompanhamento da evolução do estado ecológico da bacia e a qualidade de suas águas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Projeto Manuelzão pelo financiamento e logística de campo e ao apoio da Fapemig e CNPq. Aos colaboradores e equipe do biomonitoramento da bacia do Rio das Velhas do Nuvelhas/Projeto Manuelzão.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALBA-TERCEDOR, J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; ALVAREZ, M.; AVILÉS, J.; BONADA, N.; CASAS, J.; MELLADO, A.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; ROBLES, S.; SÁINZ-CANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, L. M.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, R. M.; VIVAS, S. e ZAMORA-MUÑOZ, C. (2002). “*Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP)*”. *Limnetica*, 21 (3-4): 175-185.

- ARMITAGE, P. D.; GUNN, R. J. M.; FURSE, M. T.; WRIGHT, J. F. e MOSS, D. (1987). “*The use of prediction to asses macroinvertebrate response to river regulation*”. *Hidrobiologia*, 144: 25-32.
- ARMITAGE, P. D.; MOSS, D.; WRIGHT, J. F. e FURSE, M. T. (1983). “*The performace of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites*”. *Water Res.*, 17 (3): 333-347.
- ASTIN, L. (2006). “*Data synthesis and bioindicator development for nontidal streams in the interstate Potomac River basin, USA*”. *Ecological Indicators*, 6: 664–685.
- BAPTISTA, D. F.; BUSS, D. F.; EGLER, M.; GIOVANELLI, A.; SILVEIRA, M. P. e NESSIMIAN, J. L. (2007). “*A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil*”. *Hydrobiologia*, 575: 83–94.
- BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; GRIFFITH, G. E.; FRYDENBOURG, R.; McCARRON, E.; WHITE, J. S. e BASTIAN, M. L. (1996). “*A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates*. *Journal of the North American Benthological Society*, 15: 185–211.
- BIRK, S. e HERING, D. (2006). “*Direct comparison of assessment methods using benthic macroinvertebrates: a contribution to the EU Water Framework Directive intercalibration exerciseI*”. *Hydrobiologia*, 566: 401–415.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F. e NESSIMIAN, J. L (2003). “*Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios*”. *Cad. Saúde Pública*, 19(2): 465-473.
- CALLISTO, M. E MORENO, P. (2005). “*Indicadores ecológicos: a vida na lama*”. *Ciência Hoje*, 36(213): 68 – 71.
- CALLISTO, M.; GONÇALVES JR, J. F. e MORENO, P. (2005). “*Invertebrados aquáticos como bioindicadores*”. Ed.: Goulart, E. M. A. In. *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais*. Rona Ed. Belo Horizonte, v. 2, 2ed. 555p.
- CALLISTO, M. e ESTEVES, F. (1996). “*Composição granulométrica do sedimento de um lago amazônico impactado por rejeito de bauxita e um lago natural*”. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 8: 115 - 126.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C. E PETRUCIO, M. (2002). “*Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de hábitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ)*”. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 14(1): 91 - 98.



- CAO, Y.; BARK, A. W. e WILLIAMS, W. P. (1997). “*Analysing benthic macroinvertebrate community changes along a pollution gradient: a framework for the development of biotic indices*”. Water Resource, 31(4): 884-892.
- CONAMA. (2005). “*Resolução N<sup>o</sup> 357 de maio de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*”. In: *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília (DF).
- CUMMINS, K.W., MERRITT, R.W. e ANDRADE, P.C.N. (2005). “*The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil*”. Studies on Neotropical Fauna and Environment, 40(1): 71-90.
- DAHL, J.; JOHNSON, R. K. e SANDIN, L. (2004). “*Detection of organic pollution of streams in southern Sweden using benthic macroinvertebrates*”. Hydrobiologia, 516: 161–172.
- FRANÇA, J.S. e CALLISTO, M. (2007). “*Coleção de macroinvertebrados bentônicos: ferramenta para o conhecimento da biodiversidade em ecossistemas aquáticos continentais*”. Neotropical Biology and Conservation, 2(1): 3-10.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R.S. e OHNSTAD, M. A. M. (1978). “*Methods for physical and chemical analysis of freshwater*”. 2<sup>o</sup> Ed. Blackwell Scientific Publication., Oxford. (I.B.P. Handbook, 8). 213p.
- GOULART, M. D.C. e CALLISTO, M. (2003). “*Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental*”. Revista Fapam, 2: 153-164.
- HALL, L. W. JR.; KILLEN, W. D. e ANDERSON, R. D. (2006). “*Characterization of benthic communities and physical habitat in the Stanislaus, Tuolumne, and Merced Rivers, California*”. Environmental Monitoring and Assessment, 115: 223–264.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J. e TALLING, J. F. (1978). “*Water analysis: some revised methods for limnologists*”. Scientific publication. No. 36. p 122. Far Sawrey, Ambleside: Freshwater Biological Association.
- MERRITT, R. W. e CUMMINS, K. W. 1996. “*An introduction to the Aquatic insects of North America*”. 3rd edition. 862p. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, IA, EUA.
- MORENO, P. , FRANÇA, J. S., FERREIRA, W. R., PAZ, A. D., MONTEIRO, I. M. e CALLISTO, M. (2009). “*Use of the BEAST model for biomonitoring water quality in a neotropical basin*”. Hydrobiologia, 630; 231-242.
- MUZZI, M. R. S e STEHMANN, J. R. (2005). “*A diversidade da vegetação*”. Ed.: GOULART, E. M. A. In. *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais*. Rona Ed. Belo Horizonte, v. 2, 2ed. 631p.

- OZ, N.; E SENGORUR, B. (2004). “*The determining of water quality with biotic indices in the Melen River and its tributaries*”. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(1): 69-70.
- PAZ, A. D.; MORENO, P. e CALLISTO, M. (2008). “*Efetividade de uCs na preservação da qualidade das águas e biodiversidade aquática em sub-bacias de referência na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG)*”. *Neotropical Biology and Conservation*. doi: 10.4013/nbc.20083.06
- PÉREZ, G. A. R. (1988). “*Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuatico del Departamento de Antioquia*”. Fondo Fen Colômbia, Colciencias, Universidad de Antioquia. 217p.
- PINTO, P.; ROSADO, J.; MORAIS, M. E ANTUNES, I. (2004). “*Assessment methodology for southern siliceous basins in Portugal*”. *Hydrobiologia*, 516: 191–214.
- ROSENBERG, D.M. e RESH, V.H. (1993). “*Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*”. New York - USA: Chapman e Hall, 488p.
- PÉS, A. M. O.; HAMADA, N. e NESSIMIAN, J. L. (2005). “*Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil*”. *Revista Brasileira de Entomologia*, 49(2): 181-204.
- POLIGNANO, M.V.; LISBOA, A.H.; ALVES, A.L.; MACHADO, A.T.G.M.; PINHEIRO, T.M.M. e AMORIM, A.L.D. (2001). “*Uma viagem ao Projeto Manuelzão à Bacia do Rio das Velhas- Manuelzão vai à escola; Coleção Revitalizar*”; Belo Horizonte. Brasil.
- SEMENCHENKO, V. P. e MOROZ, M. D. (2005). “*Comparative analysis of biotic indices in the monitoring system of running water in biospheric reserve*”. *Water Resources*, 32 (2): 200-203.
- SMITH, M. J.; KAY, W. R.; EDWARD, D. H. D.; PAPAS, P. J.; RICHARDSON, K. ST J.; SIMPSON, J. C.; PINDER, A. M.; CALE, D. J.; HORWITZ, P. H. J.; DAVIS, J. A.; YUNG, F. H.; NORRIS, R. H. e HALSE, S. A. (1999). “*AusRivAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia*”. *Freshwater Biology*, 41: 269-282.
- SOUZA, A. D. G. E TUNDISI, J. G. (2003). “*Water quality in watershed of the Jaboatão River (Pernambuco, Brazil): a case study*”. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46 (4): 711 – 721.
- STODDARD, J. L.; PECK, D. V.; PAULSEN, S. G.; VAN SICKLE, J.; HAWKINS, C. P.; HERLIHY A. T.; HUGHES, R. M.; KAUFMANN, P. R.; LARSEN, D. P.; LOMNICKY, G.; OLSEN, A. R.; PETERSON, S. A.; RINGOLD, P. L. e WHITTIER, T. R. (2005). “*An Ecological Assessment of Western Streams and Rivers*”. EPA 620/R-05/005, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.

- STRICKLAND, J.D.H. e PARSONS, T.R., (1960). “*A manual of seawater analysis*”. Bull. Fish. Res. Board Can., 125: 1-18
- SUGUIO, K. (1973). “*Introdução à sedimentologia*”. Ed. Edgard Blucher Ltda, EDUSP. 317pp.
- THORNE, R. T. J. e WILLIAMS, W. P. (1997). “*The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment*”. Freshwater Biology, 37: 671-686.
- WARD, J. V.; KONDRATIEFF, B. C. e ZUELLIG, R. E. (2002). “*An Illustrated Guide to the Mountain Stream Insects of Colorado*”. University Press of Colorado, Boulder, Colorado. 2nd ed. 219p.
- WALSH, C. J. (2006). “*Biological indicators of stream health using macroinvertebrates assemblages composition: a comparison of sensitivity to an urban gradient*”. Marine and Freshwater Research, 57: 37-47.
- WIGGINS, G. B. (1996). “*Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)*”. University of Toronto Press. 2nd ed. 457p.
- WRIGHT, J. F.; BLACKBURN, J. H.; GUNN, R. J. M.; FURSE, M. T.; ARMITAGE, P. D.; WINDER, J. M.; SYMES, K. L. e MOSS, D. (1996). “*Macroinvertebrate frequency data the RIVPACS III sites in Great Britain and their use in conservation evaluation*”. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem, (6): 141-167.
- WRIGHT, J. F. e ARMITAGE, P. D. 1993. “*RIVPACS – a technique for evaluating the biological quality of rivers in the U. K*”. European Water Pollution Control, 3(4): 15-25.
- YUAN, L. L. (2004). “*Assigning macroinvertebrate tolerance classifications using generalised additive models*”. Freshwater Biology, 49: 662–677.
- ZAMORA-MUÑOZ, C.; SAINZ-CANTERO, C. E.; SANCHEZ-ORTEGA, A. e ALBATERCEDOR, J. (1995). “*Are biological indices BMPW and ASPT and their significance regarding water quality seasonally dependent? Factors explaining their*”. War. Res., 29(1): 285-290.