

ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DE QUALIDADE DE ÁGUA DE RIOS TROPICAIS – SÍNTESE DO CONHECIMENTO E ESTUDO DE CASO: BACIA DO ALTO RIO DOCE

BIOTIC INDEX FOR ASSESSMENT OF WATER QUALITY OF TROPICAL
RIVERS – KNOWLEDGE SUMMARY AND CASE STUDY: DOCE HIGH RIVER BASIN

Marília Vilela Junqueira

Consultora, Instituto Senai de Tecnologia em Meio Ambiente. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Karina Cristiane Alves

Analista. Instituto Senai de Tecnologia em Meio Ambiente. FIEMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Henrique Paprocki

Professor. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas) – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Mônica de Souza Campos

Pesquisadora. Instituto Senai de Tecnologia em Meio Ambiente. FIEMG – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Marcela David de Carvalho

Analista. Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Hélen Regina Mota

Analista. Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Maria Edith Rolla

Consultora. Instituto Teia – Belo Horizonte (MG), Brasil.

Endereço para correspondência:

Marília Vilela Junqueira – Alameda do Engenho, 285 – São Sebastião das Águas Claras – CEP 34009100 – Nova Lima (MG) – Brasil –
E-mail: mariliavjunqueira@gmail.com

Recebido em: 08/01/2018

Aceito em: 23/07/2018

RESUMO

Este trabalho apresenta avaliações de qualidade das águas da bacia de contribuição do reservatório de Peti, localizado no alto Rio Doce, em 2014, por meio dos índices saprobiótico Minas-Rio (ISMR) e *biological monitoring working party score system/average score per taxon* (BMWP/ASPT) Minas, revisados e consolidados com base em uma série histórica de dados hidrobiológicos obtida desde 1985. O trabalho disponibiliza uma lista de 106 famílias e 176 gêneros de macrozoobentos tropicais lóticos, com suas respectivas valências e pesos saprobióticos e escores, em conformidade com o sistema saprobiótico. A rede de amostragem no alto Rio Doce abrangeu 13 sítios de coleta, e as coletas foram processadas segundo o método multi-habitát. Os resultados de qualidade de água foram semelhantes entre os índices aplicados, acusando boa qualidade em quase todos os sítios investigados, exceto em três, registrados nas classes 3 e 4.

Palavras-chave: índice saprobiótico; *biological monitoring working party score system*; macrozoobentos tropicais; lótico; biomonitoramento.

ABSTRACT

This paper presents water quality assessments in the Peti reservoir watershed, located in upper Doce River, in 2014, by use of the saprobic index Minas-Rio (ISMR), *biological monitoring working party/average score per taxon* (BMWP/ASPT) Minas, revised and consolidated as based on a series of historical hydrobiological data obtained since 1985. The data included a list of 106 families and 176 genera of lotic tropical macroinvertebrates, with its saprobic weighted indexes and saprobic system scores. The sampling in Doce River included 13 collection sites, processed according to multi-habitat methods. Water quality results were similar among the applied indexes, indicating good water quality in all sites investigated, except three of which were classified as classes 3 and 4.

Keywords: saprobic index; *biological monitoring working party score system*; tropical macrozoobenthos; lotic; biomonitoring.

INTRODUÇÃO

Os índices bióticos podem ser transformados em uma expressão matemática que resume a condição da qualidade dos ecossistemas aquáticos e representam um instrumento muito útil e prático para estimar a poluição das águas e subsidiar gestores ambientais (COTA *et al.*, 2002). Assim, os licenciamentos e monitoramentos ambientais já utilizam essas ferramentas de avaliação biológica na gestão dos recursos hídricos, o que vem aproximando os conhecimentos e resultados da limnologia aplicada na tomada de decisões (IGAM, 2018).

Esses índices fazem um retrato da biota aquática, identificam os componentes mais suscetíveis aos impactos previstos e até podem definir o melhor indicador de qualidade da água. Em ambientes aquáticos, a comunidade mais recomendada para as avaliações de impactos ambientais são os macrozoobentos. Esse grupo de organismos, que inclui insetos, crustáceos e moluscos, entre outros, é o mais adotado em programas de biomonitoramento, porque apresenta respostas identificáveis a impactos múltiplos ou específicos, difusos ou pontuais, permitindo que sejam estabelecidas relações de causa e efeito entre os estressores ambientais em relação à composição e estrutura de sua comunidade (BUSS *et al.*, 2015). Suas características sésseis, seu ciclo de vida relativamente longo e sua fácil visualização fazem dos macrozoobentos em águas correntes os melhores indicadores de integridade ecológica (ROSENBERG & RESH, 1993). Protocolos amostrais usando tais organismos provaram haver boa relação custo × benefício e bom desempenho por parte deles como bioindicadores, e, por isso, os referidos organismos vêm sendo amplamente empregados em programas de monitoramento em várias regiões do mundo.

A avaliação de qualidade da água de rios por meio de macroinvertebrados aquáticos é realizada rotineiramente na Europa há mais de 100 anos (KOLKWITZ & MARSSON, 1902), principalmente na Alemanha, onde se tornou uma norma de monitoramento (DIN 38410-1, 2004). Para atender às novas diretrizes da gestão dos recursos hídricos na Europa (AQEM, 2002), os países desse continente começaram um novo capítulo na avaliação de qualidade das águas, baseado em parâmetros biológicos e com ênfase nos macrozoobentos, tendo como objetivos principais padronizar procedimentos metodológicos e propiciar a intercomparação de resultados para a classificação da qualidade ecológica de

cursos de água. Assim, foi possível identificar as necessidades de cada ecossistema e, de forma integrada, incrementar programas de planejamento para a tomada de decisões para o saneamento e restauração dos rios europeus (AQEM, 2002).

No Brasil, o emprego de índices bióticos de qualidade de água no gerenciamento de bacias é ainda muito reduzido, apesar de haver índices adaptados para os macrozoobentos tropicais desde as décadas passadas, no que se refere aos sistemas lóticos de Minas Gerais (JUNQUEIRA & GOMES, 1988; JUNQUEIRA & CAMPOS, 1991; 1998). Nesse contexto, há que se considerar que, nos cursos d'água brasileiros, o problema mais relevante continua sendo o efluente doméstico, que provoca excesso de matéria orgânica nas águas. O monitoramento, que utiliza métricas biológicas precisas para avaliar a carga orgânica nas águas, com índices bióticos fundamentados na adaptação do sistema saprobiótico (DIN, 2004), torna-se de suma importância para o desenvolvimento e aprimoramento de índices ecológicos consistentes e capazes de detectar pressões dessa natureza sobre a integridade de nossos rios.

Portanto, o trabalho teve como objetivo disponibilizar um instrumento de gestão e fiscalização para ambientes aquáticos mediante um sistema de classificação padronizado e adaptado aos ambientes aquáticos tropicais, por meio da revisão e consolidação das adaptações mineiras dos dois índices bióticos mais conhecidos e consagrados pela literatura internacional, por sua eficácia em biomonitoramentos de rios em muitos países.

O estudo de bioindicadores de avaliação de qualidade das águas realizado neste artigo, em áreas de cabeceiras da bacia do alto Rio Doce, mostra-se bastante oportuno, considerando o grande comprometimento sofrido pelo Rio Doce em decorrência do rompimento de barragens de rejeito de minério e do lançamento sistemático de despejos orgânicos e tóxicos, que vêm afetando a qualidade ecológica desse recurso hídrico. Os dados obtidos nas áreas menos impactadas da bacia do Rio Doce levantados neste trabalho podem subsidiar e nortear modelos de referência para estudos de restauração das áreas degradadas. Índices utilizados podem ser expandidos e aplicados em toda a bacia do Rio Doce, possibilitando a coleta de resultados intercomparáveis e permitindo o aprimoramento do monitoramento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo para avaliação da qualidade da água compreendeu a bacia de drenagem do reservatório da Usina Hidrelétrica de Peti, no Rio Santa Bárbara, pertencente à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), e que está localizado no alto Rio Doce (MG).

Coleta de amostras

A coleta das amostras de macroinvertebrados aquáticos fundamentou-se na metodologia de amostragem multi-habitát, descrita no manual desenvolvido pelo Sistema AQEM (2002), no contexto da Diretiva Europeia de Enquadramento das Águas, que posteriormente foi transformada em norma (DIN, 2012). As coletas de dados brutos foram reali-

zadas em uma campanha de campo na seca de julho de 2014, e o instrumento empregado para coleta das unidades amostrais foi um puçá manual, com dimensões de 0,30 × 0,30 m do tipo Surber (ISO, 1988), com rede de malha de 0,3 mm de abertura e área total de 0,090 m², apropriado para coletas em cursos d'água.

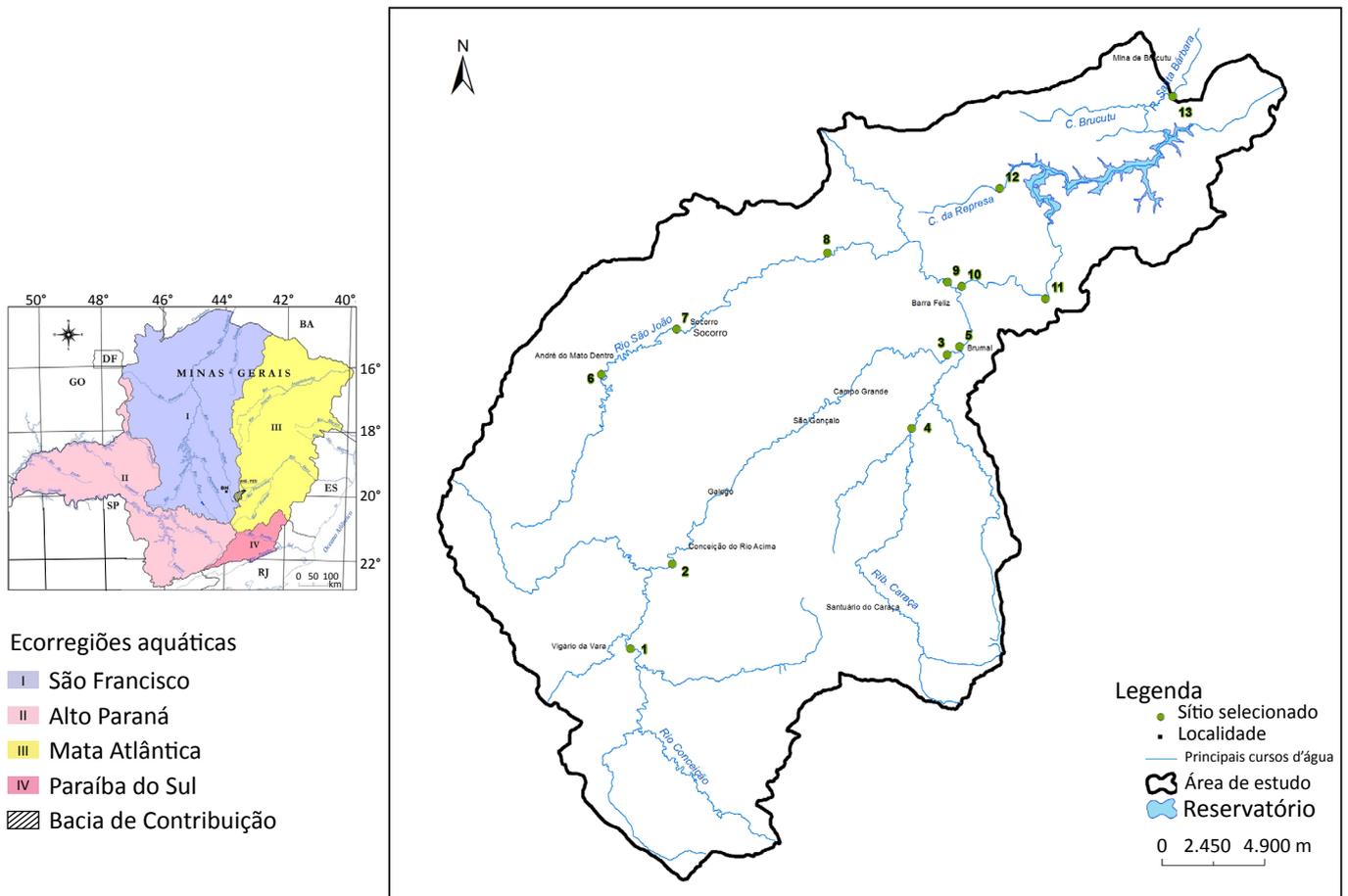


Figura 1 – Mapa da rede de amostragem da bacia de drenagem do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, no alto Rio Doce (MG).

Revisão e tratamento dos dados

A revisão das adaptações anteriores dos dois índices bióticos – índice saprobiótico Minas-Rio (ISMR), segundo Junqueira *et al.* (2010) e Junqueira e Friedrich (2011), e *biological monitoring working party score system* (BMWP) (HAWKES, 1982), conforme Junqueira *et al.* (2000) –, além da classificação do *average score per taxon* (ASPT) (ARMITAGE *et al.*, 1983) para macroinvertebrados aquáticos tropicais, realizada neste trabalho e aplicada na avaliação da qualidade das águas dos sítios investigados, fundamentou-se em uma série histórica de dados hidrobiológicos preexistente voltada para o estudo de macroinvertebrados aquáticos como bioindicadores em diversos cursos d'água das bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais. São elas: rios Paranaíba, Jequitinhonha, Paraíba do Sul (MG/RJ), Pardo, Doce e São Francisco, compreendendo as sub-bacias dos rios das Velhas, Paraopeba, Paracatu, Grande e Verde Grande. Essas informações do banco de dados vêm sendo coletadas e armazenadas pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais desde

1985 (JUNQUEIRA *et al.*, 2007) e foram somadas, até 2014, aos dados levantados pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD, 2005), pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2007) e, mais recentemente, pelo Centro de Inovação e Tecnologia do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG)/Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente (ISTMA) (CENTRO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA SENAI FIEMG, 2017). No caso do índice ISMR, compreenderam-se, ainda, dados obtidos por investigações feitas nas bacias de contribuição da Baía de Guanabara, Sepetiba e Lagoa de Jacarepaguá, no estado do Rio de Janeiro, pela Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) (ARAÚJO *et al.*, 1998; FRIEDRICH *et al.*, 1990).

Esse banco de dados abrangeu cerca de dois mil dados hidrobiológicos e possibilitou a estruturação de uma base suficiente de informações para subsidiar a

Quadro 1 – Descrição geográfica da rede de coleta estabelecida na bacia de drenagem do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, no alto Rio Doce, MG.

Sítio	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Curso d'água
	Latitude	Longitude		
1	20°07'09" S	43 36'26" W	817	Rio Conceição
2	20°04'57" S	43°35'18" W	783	Rio Conceição
3	19°59'28" S	43°27'48" W	735	Rio Conceição
4	20°01'22" S	43°28'45" W	773	Ribeirão Caraça
5	19°59'15" S	43°27'28" W	727	Ribeirão Caraça
6	20°00'02" S	43°37'17" W	828	Rio São João
7	19°58'51" S	43°35'14" W	793	Rio São João
8	19°56'51" S	43°31'07" W	750	Rio São João
9	19°57'34" S	43°27'49" W	725	Rio São João
10	19°57'40" S	43°27'25" W	717	Rio Santa Bárbara
11	19°57'59" S	43°25'07" W	714	Rio Santa Bárbara
12	19°55'08" S	43°26'24" W	739	Córrego da Represa
13	19°52'42" S	43°21'41" W	584	Rio Santa Bárbara

determinação de valências, pesos saprobióticos e escores para as famílias, os gêneros e algumas espécies de macroinvertebrados aquáticos tropicais. Esses dados foram tratados relacionando-se frequências de ocorrência dos táxons de macroinvertebrados aquáticos nos diferentes graus de saprobidade da água de seus habitats e determinando seus limites de tolerâncias à carga orgânica e sua importância (pesos) como bioindicadores, segundo a Equação (1) do sistema saprobiótico e a Tabela 1 (JUNQUEIRA, *et. al.*, 2010).

$$S = \frac{1 \text{ os} + 1,5 \text{ os-}\beta\text{ms} + 2 \beta\text{ms} + 2,5 \beta\text{ms-}\alpha\text{ms} + 3 \alpha\text{ms} + 3,5 \alpha\text{ms-}\rho\text{ms} + 4 \rho\text{s}}{10} \quad (1)$$

Em que:

s: valência saprobiótica do táxon;
 os: oligosapróbico;
 os-βms: oligo-beta-mesosapróbico;
 β: beta-mesosapróbico;
 βms-αms: beta-mesosapróbico-alfa-mesosapróbico;
 αms: alfa-mesosapróbico;
 αms-ρs: alfa-mesopolisapróbico-polisapróbico;
 ρs: polisapróbico.

O tratamento dos dados biológicos analisados e a avaliação da qualidade da água dos sítios feita por meio da metodologia do sistema saprobiótico utilizaram a equação de Zelinka e Marvan (1961), que determina o índice saprobiótico do sítio de amostragem S (Equação 2).

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{s_i X_i A_i X_i G_i}{A_i X_i G_i} \quad (2)$$

Em que:

S: índice saprobiótico do sítio de amostragem;
 S: valência saprobiótica do táxon;
 G: peso saprobiótico do táxon;
 A: classe de abundância do táxon; i = número ocorrente de táxons.

A determinação da abundância dos macrozoobentos A adotou sete níveis de classificação, conforme apresentado no Quadro 2.

Os critérios seguintes foram exigidos para tornarem válido o cálculo do ISMR do sítio S, segundo Junqueira e Friedrich (2011):

- 1) Ocorrer na comunidade macrozoobentônica do sítio no mínimo cinco táxons com valência saprobiótica s;
- 2) Caso aparecessem menos de cinco táxons, era necessário que um ou dois táxons tivessem abundância mínima de 11 indivíduos/m² (classe 3 de abundância);
- 3) A soma das abundâncias dos táxons no sítio deveria ser maior do que oito.

Em situações em que esses critérios não foram atendidos, os resultados do ISMR não foram considerados válidos, exceção feita a sítios de níveis de poluição muito grande, onde ocorrem apenas um ou dois táxons

Tabela 1 – Classificação do desvio padrão e dos pesos indicativos segundo Friedrich e Herbst (2004).

Desvio padrão	Peso indicativo
0,0 a 0,2	16
> 0,2 a 0,4	8
> 0,4 a 0,6	4
> 0,6 a 0,8	2
> 0,8 a 1,0	1
> 1,0	não pode ser usado como indicador de saprobidade

Quadro 2 – Classes de abundância dos macroinvertebrados A de acordo com o índice saprobiótico Minas-Rio (ISMR).

Classe	Abundância	Macroinvertebrados (organismos/m ²)
1	raro	1 a 2
2	muito pouco	3 a 10
3	pouco	11 a 30
4	significativo	31 a 71
5	abundante	72 a 150
6	muito abundante	151 a 360
7	excessivo	> 360

com valência *s* e abundância *A* muito altas, como, por exemplo: *Limnodrilus hoffmeisteri* (*is* = 3,3 e *A* = 7) ou *Sphaerotilus natans* macroscópica (*is* = 3,6). Nesses casos, foi usada a valência saprobiótica, ou classe 5, para determinar a saprobidade e a qualidade de água do sítio. Quanto ao método BMWP, também revisado neste trabalho, cabe dizer que foi aplicado o ASPT, que divide a soma total dos escores do BMWP pelo número de táxons presentes no sítio, aos resultados correspondentes ao somatório dos escores das famílias de macroin-

vertebrados aquáticos encontradas no sítio estudado. Critérios similares aos exigidos pelo sistema saprobiótico foram adotados para os resultados do BMWP/ASPT Minas serem considerados válidos, ou seja: ocorrer no mínimo cinco famílias no sítio e, quando abaixo disso, existir grande abundância de indivíduos em uma ou duas famílias. Paralelamente, também foi avaliada a biodiversidade faunística dos macrozoobentos nos sítios da área de estudo, e, para isso, foi adotado o índice de Shannon-Wiener (1949).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Revisão dos índices bióticos

Após a análise do banco de dados da série histórica obtida em rios tropicais, as valências saprobióticas *s* dos gêneros de macroinvertebrados e seus respectivos pesos saprobióticos *G* (FRIEDRICH & HERBST, 2004), anteriormente preestabelecidos para apenas 60 gêneros taxonômicos, foram reavaliados e também determinados, do mesmo modo, para mais 116 gêneros de macroinvertebrados lóticos tropicais, totalizando 176 táxons, usando como base a referida série histórica. Os resultados da revisão do ISMR são apresentados na Tabela 2, da qual

consta a lista de macroinvertebrados aquáticos do ISMR com suas respectivas valências *s* e pesos *G* saprobióticos.

A revisão das faixas das classes de qualidade de água do ISMR foi adaptada do trabalho de Meier *et al.* (2006) e considera a classificação das águas dos cursos d'água investigados conforme dois atributos ecofísicos regionais adotados na tipificação de rios: a altitude e o zoneamento longitudinal (largura do canal) do ambiente aquático (Quadro 3).

Tabela 2 – Lista revisada das valências saprobióticas (*s*) e respectivos pesos saprobióticos (*G*) dos macroinvertebrados do índice saprobiótico Minas-Rio (ISMR).

Táxon		" <i>is</i> "	" <i>G</i> "
Turbellaria			
DugesIIDae			
<i>Dugesia sp.</i>	Girard, 1850	2,30	8
<i>Dugesia tigrina</i>	Girard, 1850	2,30*	8*
Oligochaeta			
Naididae	(vermelho)	3,30	4
<i>Pristina sp.</i>	Ehrenberg, 1828 em Brinkhurst, 1985	2,50	16
<i>Dero sp.</i>	Oken, 1815	3,00	8
<i>Allonais sp.</i>	Sperber, 1948	2,30	16
<i>Nais sp.</i>	Müller, 1773	2,00	8
<i>Limnodrilus sp.</i>	Claparede, 1862	3,30	4
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	Claparede, 1862	3,30	4
<i>Branchiura sp.</i>		2,30	8
<i>Branchiura sowerbyi</i>	Beddard, 1892	2,30*	8*
<i>Bothrioneurum sp.</i>	Stolc, 1888	2,50	16
Hirudinea			
Glossiphoniidae			

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
<i>Placobdella sp.</i>	Blanchard, 1893	2,50	8
<i>Helobdella sp.</i>	Blanchard, 1896	2,60	8
<i>Helobdella stagnalis</i>	Linnaeus, 1758	2,60*	4*
Erpobdellidae			
<i>Erpobdella sp.</i>	de Brainville, 1818	2,90	8
Gastropoda			
Thiaridae			
<i>Melanoides</i>			
<i>Melanoides tuberculatus</i>	(Müller, 1774)	2,00	4
Ancyliidae			
<i>Ferissia sp.</i>	Walker, 1903	1,90*	4*
Physidae			
<i>Physa sp.</i>	Draparnaud, 1801	2,60	8
Lymnaeidae			
<i>Lymnaea sp.</i>	Lamarck, 1799	1,80	8
Planorbidae			
<i>Biomphalaria sp.</i>	Preston, 1910	2,30	8
Bivalvia			
Mytilidae			
<i>Limnoperna sp.</i>	Rochebrune, 1882	2,10	4
<i>Limnoperna fortunei</i>	Dunker, 1857	2,10	4
Mycetopodidae			
<i>Anodontites sp.</i>	Bruguière, 1792	1,80	16
Hyriidae			
<i>Diplodon sp.</i>	Spix, 1827	1,80	16
Corbiculidae			
<i>Corbicula sp.</i>	Megerle von Mühlfeld, 1811	2,20	4
<i>Corbicula fluminea</i>	Müller, 1774	2,2*	4*
Sphaeriidae			
<i>Pisidium sp.</i>	Pfeiffer, 1821	2,00*	8*
Crustacea			
Hyalellidae			
<i>Hyalella sp.</i>	Smith, 1874	1,50	16
Gammaridae			
<i>Gammarus sp.</i>	Fabricius, 1775	1,50	16
<i>Gammarus pulex</i>	Linnaeus, 1758	2,00*	4*
Aeglidae			
<i>Aegla sp.</i>	Leach, 1820	1,50	16
Palaemonidae			
<i>Macrobrachium sp.</i>	Bate, 1868	1,83	8

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
Ephemeroptera			
Leptohyphidae			
<i>Leptohyphes sp.</i>	Eaton, 1882	1,70	16
<i>Traverhyphes sp.</i>	Molinieri, 2001	1,75	16
<i>Tricorythodes sp.</i>	Ulmer, 1920	1,72	16
<i>Tricorythodes</i>	Ulmer, 1920	1,70	16
<i>Tricorythodes santarita</i>	Traver, 1959	1,70	16
<i>Tricorythopsis sp.</i>	Traver, 1958	1,76	16
<i>Leptohyphodes sp.</i>	Ulmer, 1921	1,50	16
Caenidae			
<i>Caenis sp.</i>	Stephens, 1835	2,00*	4*
Baetidae			
<i>Americabaetis sp.</i>	Kluge, 1992	1,78	8
<i>Apobaetis sp.</i>	Day, 1955	1,80	16
<i>Baetodes sp.</i>	Needham e Murphi, 1924	1,75	8
<i>Camelobaetidius sp.</i>	Demoulin, 1966	1,50	8
<i>Cloeodes sp.</i>	Traver, 1938	1,90	16
<i>Cryptonympha sp.</i>	Lugo-Ortiz e McCafferty, 1998	1,50	16
Euthyplociidae			
<i>Campylocia sp.</i>	Needham & Murphy, 1924	1,30	16
Polymitarciidae			
<i>Campsurus sp.</i>	Eaton, 1868	1,80	8
<i>Asthenopus sp.</i>	Eaton, 1871	1,70	16
Leptophlebiidae			
<i>Farrodes sp.</i>	Peters, 1971	1,70	16
<i>Hylister sp.</i>	Dominguez & Flowers, 1989	1,30	16
<i>Massartella sp.</i>	Lestage, 1930	1,50	16
<i>Miroculis sp.</i>	Edmonds, 1963	1,50	16
<i>Needhamella sp.</i>	Dominguez & Flowers, 1989	1,50	16
<i>Thraulodes sp.</i>	Ulmer, 1920	1,50	16
<i>Hermanella sp.</i>	Needham & Murphy, 1924	1,60	16
<i>Traverella sp.</i>	Edmonds, 1948	1,50	16
<i>Ulmeritoides sp.</i>	Traver, 1959	1,60	16
<i>Ulmeritus sp.</i>	Traver, 1956	1,65	16
<i>Terpides sp.</i>	Demoulin, 1966	1,50	16
<i>Homothraulius sp.</i>	Demoulin, 1955	1,30	16
<i>Hydromastodon sp.</i>	Polegatto & Batista, 2007	1,60	16
Plecoptera			
Perlidae			
<i>Anacroneuria sp.</i>	Klapálek, 1909	1,55	8

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
<i>Kempnyia sp.</i>	Klapálek, 1916	1,30	16
<i>Macrogynoplax sp.</i>	Enderlein, 1009	1,40	16
Gripopterygidae			
<i>Gripopteryx sp.</i>	Pictet, 1841	1,35	16
<i>Paragripopteryx sp.</i>	Enderlein, 1009	1,35	16
<i>Tupiperla sp.</i>	Froehlich, 2001	1,40	16
<i>Guaranyperla sp.</i>	Froehlich, 2001	1,40	16
Odonata			
Calopterygidae			
<i>Hetaerina sp.</i>	Hagen in Selys, 1853	1,70	8
Coenagrionidae			
<i>Argia sp.</i>	Rambur, 1842	1,75	16
Lestidae			
<i>Archilestes sp.</i>	Selys, 1862	1,50	16
Megapodagrionidae			
<i>Heteragrion sp.</i>	Selys, 1862	1,90	16
<i>Oxystigma sp.</i>	Selys, 1862	1,80	16
Perilestidae			
<i>Perilestes sp.</i>	Hagen, 1862	1,50	16
Aeshnidae			
<i>Castoraeschna sp.</i>	Calvert, 1952	1,65	8
<i>Coryphaeschna sp.</i>	Williamson, 1903	1,40	16
<i>Limnetron sp.</i>	Förster, 1907	1,75	16
Gomphidae			
<i>Aphylla sp.</i>	Selys, 1854	1,80	16
<i>Phyllocycla sp.</i>	Calvert, 1948	1,85	8
<i>Progomphus sp.</i>	Selys, 1854	1,83	8
<i>Epigomphus sp.</i>	Hagen in Selys, 1854	1,93	8
<i>Archaeogomphus sp.</i>	Williamson, 1919	1,50	16
<i>Zonophora sp.</i>	Selys, 1854	1,50	16
<i>Cyanogomphus sp.</i>	Selys, 1873	1,79	16
<i>Phyllogomphoides sp.</i>	Belle, 1970	1,82	16
<i>Gomphoides sp.</i>	Selys, 1854	1,75	16
<i>Tibiogomphus sp.</i>	Belle, 1992	1,90	16
Corduliidae			
<i>Neocordulia Sp.</i>	Selys, 1882	1,50	8
<i>Navicordulia sp.</i>	Selys, 1882	1,50	16
Libellulidae			
<i>Brechmorhoga sp.</i>	Kirby, 1894	1,80	16
<i>Dythemis sp.</i>	Hagen, 1861	1,67	16
<i>Elasmothemis sp.</i>	Westfall, 1988	1,92	8
<i>Erythrodiplax sp.</i>	Brauer, 1868	1,83	16
<i>Macrothemis sp.</i>	Hagen, 1868	1,75	8
<i>Planiplax sp.</i>	Muttkowski, 1910	1,81	16

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
<i>Perithemis sp.</i>	Hagen, 1861	1,50	16
<i>Erythemis sp.</i>	Hagen, 1861	2,00	16
<i>Miathyria sp.</i>	Kirby, 1889	1,80	16
<i>Micrathyria sp.</i>	Kirby, 1889	2,00	8
<i>Idiataphe sp.</i>	Cowley, 1934	2,00	8
<i>Elga sp.</i>	Ris, 1909	1,80	16
<i>Libellula sp.</i>	Linnaeus, 1758	1,50	16
<i>Zenithoptera sp.</i>	Selys, 1869	2,00	8
<i>Gynothemis sp.</i>	Calvert in Ris, 1909	1,90	16
Megaloptera			
Corydalidae			
<i>Corydalus sp.</i>	Lastreille, 1802	1,7	8
Coleoptera			
Halipidae			
<i>Halipus sp.</i>	Latreille, 1802	2,4*	4*
Noteridae			
<i>Notomicrus sp.</i>	Sharp, 1882	1,78	8
Gyrinidae			
<i>Gyrinus sp.</i>	Müller, 1764	2,00	8
<i>Gyretes sp.</i>	Brullé, 1834	1,50	8
Dryopidae			
<i>Pelonomus sp.</i>	Erichson, 1847	1,70	8
Elmidae			
<i>Hexanchorus sp.</i>	Scharp, 1882	1,50	8
<i>Phanocerus sp.</i>	Scharp, 1882	1,50	8
<i>Neoelmis sp.</i>	Musgrave, 1935	1,90	8
<i>Heterelmis sp.</i>	Scharp, 1882	1,90	8
<i>Macrelmis sp.</i>	Motschulsky, 1859	1,85	8
<i>Xenelmis sp.</i>	Hinton, 1936	1,80	8
<i>Hexacylloepus sp.</i>	Scharp, 1882	1,70	8
<i>Portelmis sp.</i>	Sanderson, 1953	1,50	8
Lutrochidae			
<i>Lutrochus sp.</i>	Erichson, 1847	1,83	8
Psephenidae			
<i>Psephenus sp.</i>	Haldeman, 1853	1,38	16
Hydrophilidae			
<i>Berosus sp.</i>	Leach, 1817	1,83	8
Hydrochidae			
<i>Hydrochus sp.</i>	Leach, 1817	1,50	8
Trichoptera			
Hydrobiosidae			
<i>Atopsyche sp.</i>	Banks, 1905	1,55	16
Hydroptilidae			
<i>Abtrichia sp.</i>	Mosely, 1939	1,60	16

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
<i>Alisotrichia sp.</i>	Flint, 1964	1,70	8
<i>Anchitrichia sp.</i>	Flint, 1970	1,50	16
<i>Neotrichia sp.</i>	Morton, 1905	1,75	8
<i>Oxyethira sp.</i>	Eaton, 1873	1,65	8
<i>Rhyacopsyche sp.</i>	Müller, 1879	1,60	16
<i>Hydroptila sp.</i>	Dalman, 1819	1,55	4
<i>Flintiella sp.</i>	Angrisano, 1995	1,50	8
<i>Metrichia sp.</i>	Ross, 1938	1,78	16
<i>Cerasmatrichia sp.</i>	Flint; Harris & Botosaneanu, 1994	1,75	16
Glossosomatidae			
<i>Mortoniella sp.</i>	Ulmer, 1906	1,50	16
<i>Protoptila sp.</i>	Banks, 1904	1,60	8
<i>Itauara sp.</i>	Müller, 1888	1,30	16
<i>Culoptila sp.</i>	Mosely, 1954	1,73	8
Ecnomidae			
<i>Austrotinodes sp.</i>	Schmid, 1955	1,75	16
Hydropsychidae			
<i>Blepharopus sp.</i>	Kolenati, 1859	1,65	16
<i>Centromacronema sp.</i>	Ulmer, 1905	1,40	16
<i>Leptonema sp.</i>	Guérin, 1843	1,75	8
<i>Macronema sp.</i>	Pictet, 1836	1,42	16
<i>Macrostemum sp.</i>	Kolenati, 1859	1,50	16
<i>Smicridea sp.</i>	MacLachlan, 1871	2,30	8
<i>Smicridea sp.</i>	MacLachlan, 1871	2,30	16
<i>Smicridea (Rhyacophylax) sp.</i>	Müller, 1879		
<i>Synoestroposis sp.</i>	Ulmer, 1905	1,35	16
Philopotamidae			
<i>Chimarra sp.</i>	Stephens, 1829	1,51	16
<i>Alterosa sp.</i>	Blahnik, 2005	1,50	16
Polycentropodidae			
<i>Cernotina sp.</i>	Ross, 1938	1,65	16
<i>Cyrnellus sp.</i>	Blanks, 1913	1,67	16
<i>Nyctiophylax sp.</i>	Brauer, 1865	1,30	16
<i>Polyplectropus sp.</i>	Ulmer, 1905	1,33	16
<i>Polycentropus sp.</i>	Curtis, 1835	1,93	16
Xiphocentronidae			
<i>Xiphocentron sp.</i>	Brauer, 1870	1,30	16
Calamoceratidae			
<i>Phylloicus sp.</i>	Müller, 1880	1,45	8
Helicopsychidae			
<i>Helicopsyche sp.</i>	Siebold, 1856	1,82	8
Leptoceridae			

Continua...

Tabela 2 – Continuação.

Táxon		“is”	“G”
<i>Grumichella sp.</i>	Müller, 1879	1,75	16
<i>Nectopsyche sp.</i>	Müller, 1879	1,77	16
<i>Notalina sp.</i>	Mosely, 1936	1,50	16
<i>Oecetis sp.</i>	MacLachlan, 1877	1,62	8
<i>Triplectides sp.</i>	Kolenati, 1859	1,33	16
Limnephilidae			
<i>Antarctoecia sp.</i>	Ulmer, 1907	1,20	16
Odontoceridae			
<i>Barypenthus sp.</i>	Burmeister, 1839	1,30	16
<i>Marilia sp.</i>	Müller, 1880	1,59	16
<i>Anastomoneura sp.</i>	Huamantínco & Nessimian 2004	1,20	16
Anomalopsychidae			
<i>Contulma sp.</i>	Flint, 1969	1,50	16
Atriplectididae			
<i>Neotriplectides sp.</i>	Holzenthall, 1997	1,20	16
Diptera			
Culicidae			
<i>Anopheles sp.</i>	Meigen, 1818	1,70	8
<i>Culex sp.</i>	Linnaeus, 1758	2,30	4
Dixidae			
<i>Dixella sp.</i>	Dyar & Shannon, 1924	1,70	16
Chironomidae	(vermelho)	3,30	4
<i>Chironomus sp.</i>	Meigen, 1803	3,30*	4*
<i>Cladopelma sp.</i>	Kieffer, 1921	1,50	16
<i>Cryptochironomus sp.</i>	Kieffer, 1918	2,17	8
<i>Dicrotendipes sp.</i>	Kieffer, 1913	1,75	16
<i>Polypedilum sp.</i>	Kieffer, 1912	1,76	8
<i>Rheotanytarsus sp.</i>	Thienemann & Bause, 1913	2,00	4
<i>Cricotopus sp.</i>	v. d. Wulp 1874	2,02	4
Psychodidae			
<i>Maruina sp.</i>	Müller, 1895	1,70	16
<i>Pericoma sp.</i>	Walker, 1856	2,30	16
<i>Psychoda sp.</i>	Latreille, 1796	2,95	2
Simuliidae			
<i>Simulium sp.</i>	Latreille, 1802	1,70	16
Limoniidae			
<i>Limonia sp.</i>	Meigen, 1803	1,75	16
Empididae			
<i>Hemerodromia sp.</i>	Meigen, 1822	2,00	16
Tabanidae			
<i>Tabanus sp.</i>	Linnaeus, 1758	2,00	16
Bacteria			
<i>Sphaerotilus natans</i>	Kützing, 1833 (só macroscópica)	3,60	8

*Táxon cosmopolita com (s e G) , calculado segundo método DIN 2004

Os resultados da revisão do método BMWP/ASPT Minas aplicado para avaliar a qualidade das águas na área estudada, também anteriormente adaptado para os macroinvertebrados tropicais (JUNQUEIRA *et al.*, 2000; 2007), apresentam novas pontuações ou escores para as famílias dos macroinvertebrados aquáticos. Esses escores foram revisados após análise feita por análise de componente principal (ACP), que usou os escores previamente atribuídos para as famílias do BMWP, para comparar com as valências e os pesos G saprobióticos estabelecidos para os gêneros dessas mesmas famílias de macroinvertebrados. Os agrupamentos dos táxons conforme seus graus de tolerância à carga orgânica mostrados pela ACP permitiram confirmar os novos escores do BMWP definidos para os organismos de ambientes tropicais (Figura 2 e Quadro 4).

Os escores das famílias dos heterópteros, que não são organismos considerados no sistema saprobiótico por serem maus indicadores de qualidade da água, e os escores daquelas famílias, com pouco registro no banco de dados (Blephariceridae, Dolichopodidae, Ephydriidae, Sialidae e Hydrobiidae), receberam os mesmos escores determinados por Alba-Tercedor e Sánchez-Ortega (1988).

A classificação adotada para avaliar a qualidade das águas nos sítios da bacia de contribuição do reservatório de Peti foi feita conforme apresentado no Quadro 5, adaptada dos trabalhos de Coring e Küchenhoff (1995) e Mandaville (2002).

Ao se comparar os índices saprobiótico ISMR e BMWP/ASPT Minas, devem-se levar em conta as suas diferentes abordagens metodológicas. O sistema saprobiótico

dispõe de valências e pesos indicativos da importância dos bioindicadores em níveis específicos. Além de gêneros e espécies, o ISMR utiliza também a abundância individual dos táxons para avaliar a qualidade da água. Dessa forma, pode possibilitar, principalmente, biomonitoramentos rotineiros e de longa duração, além de maior precisão no acompanhamento e monitoramento das condições das águas. O ISMR permite identificar oscilações na biocenose aquática relativas à diversidade e abundância de gênero e espécie que não podem ser detectadas quando a avaliação taxonômica é feita apenas a nível taxonômico de família, como no método BMWP/ASPT. Fora isso, a avaliação das águas correntes pela metodologia do sistema saprobiótico utiliza uma classificação de qualidade da água de rios que leva em consideração a abordagem de tipificação.

A avaliação distingue e agrupa ambientes com características abióticas semelhantes, que são correlacionadas a fatores que influenciam na qualidade das águas, especialmente no que diz respeito ao teor de oxigênio. Os ambientes aquáticos reagem de formas diferentes aos impactos de influências antropogênicas, havendo tipificação dos cursos d'água, os quais podem ser analisados individualmente ou reunidos em grupos para serem gerenciados adequadamente (JUNQUEIRA & SOMMERHÄUSER, 2014). Todavia, por conta das limitações do conhecimento taxonômico no Brasil, sobretudo das formas imaturas dos organismos aquáticos tropicais, não é possível, ainda, a identificação da maioria dos macrozoobentos em nível de gênero e espécie. Logo, o emprego do método BMWP/ASPT é uma alternativa prática e viável quando se pretende um diagnóstico com respostas mais rápidas e econômicas.

Quadro 3 – Classificação da qualidade da água adotada no índice saprobiótico Minas-Rio (ISMR).

Atributo ecorregional da tipologia	Qualidade da água				
	Muito boa	Boa	Moderada	Ruim	Muito ruim
Altitude e zoneamento longitudinal					
Rios e córregos de montanhas altas (> 800 m)	< 1,25	até 1,85	até 2,55	até 3,30	> 3,35
Córregos de montanhas médias (800–200 m)	< 1,40	até 1,95	até 2,65	até 3,35	> 3,35
Rios de montanhas médias (800–200 m)	< 1,55	até 2,05	até 2,70	até 3,35	> 3,35
Rios arenosos de planícies (< 200 m)	< 1,90	até 2,30	até 2,90	até 3,45	> 3,45

Avaliação da qualidade das águas

Os resultados da avaliação da qualidade da água nos sítios da bacia de contribuição do reservatório de Peti no alto Rio Doce (MG) em 2014 obtidos com a aplicação dos índices ISMR e BMWP/ASPT Minas estão apresentados no Quadro 6.

As águas, na área estudada, foram classificadas como de boa qualidade, na classe 2, em 73% dos sítios, exceto nos sítios 9, 10 e 11, que variaram entre as classes 3 e 4. Esses três sítios localizam-se a jusante das

sedes dos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara e recebem elevadas cargas de esgoto doméstico, sem nenhum tratamento. Os resultados dos sítios 3 e 5 não constam do Quadro 6, pois apresentaram número de táxons muito baixos, que invalidaram a análise da sua qualidade de água dos índices. Em ambos os sítios ocorreu acentuada degradação do habitat, acarretando grandes distúrbios na comunidade macrozoobentônica. No sítio 3, essa degradação foi causada por alterações ecomorfológicas provocadas por grandes volumes

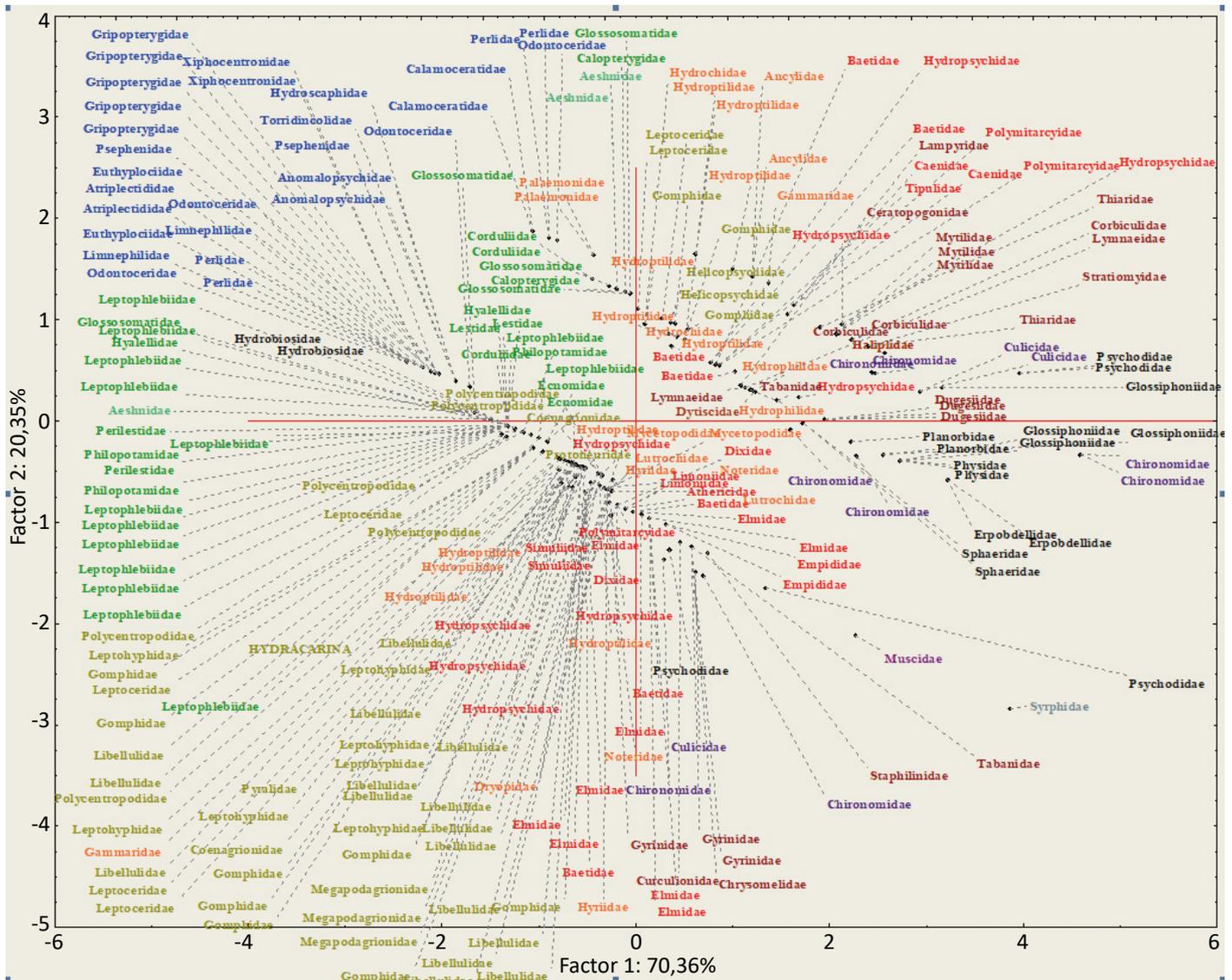


Figura 2 – Resultado da análise de componente principal (ACP) agrupando os táxons de macroinvertebrados aquáticos tropicais conforme sua tolerância à carga orgânica.

Quadro 4 – Novos escores do método *biological monitoring working party score system* (BMWP) Minas estabelecidos para os macrozoobentos lóticos tropicais.

Famílias	Escore
Gripopterygidae, Perlidae	10
Calamoceratidae, Xiphocentronidae, Anomalopsychidae, Odontoceridae, Limnephilidae,	
Atriplectididae, Limnephilidae	
Euthyplociidae, Oligoneuriidae	
Psephenidae, Hydroscaphidae, Torridincolidae	
Blephariceridae	
Spongillidae	
Glossosomatidae, Philopotamidae, Hydrobiosidae, Ecnomidae	8
Leptophlebiidae	
Aeshnidae, Lestidae, Perilestidae, Corduliidae, Calopterygidae	
Aeglidae, Hyalellidae	
Leptoceridae, Polycentropodidae, Helicopsychidae	7
Leptohyphidae	
Coenagrionidae, Megapodagrionidae, Protoneuridae, Libellulidae, Gomphidae	
Pyralidae	
Hydracarina	
Hydroptilidae	6
Noteridae, Lutrochidae, Hydrochidae, Limnichidae, Hydraenidae, Dryopidae	
Corydalidae	
Palaemonidae, Gammaridae	
Hyriidae, Mycetopodidae, Ancylidae	
Hydropsychidae	5
Polymitarcyidae, Baetidae, Caenidae	
Elmidae	
Ampullariidae	
Simuliidae, Dixidae, Empididae, Tipulidae, Limoniidae, Athericidae	
Lampyridae, Chrysomelidae, Curculionidae, Haliplidae, Staphylinidae, Dytiscidae,	4
Gyrinidae, Hydrophilidae	
Sialidae	
Ceratopogonidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Sciomyzidae, Dolichopodidae	
Lymnaeidae, Thiaridae, Corbiculidae, Mytilidae	
Dugesidae	3
Nepidae, Hydrometridae, Belostomatidae, Pleidae, Hebridae, Corixidae,	
Gerridae, Gelastocoridae, Naucoridae, Notonectidae, Veliidae, Mesoveliidae, Corixidae	
Physidae, Sphaeriidae, Planorbidae, Hydrobiidae	
Psychodidae	
Glossiphoniidae, Erpobdellidae	2
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Ephydriidae	
Oligochaeta, Syrphidae	
	1

de rejeitos de mineração, e no sítio 5 por conta de atividades de recreação de um balneário no local.

Este trabalho constatou, também, a ocorrência de espécies exóticas invasoras, como dos moluscos *Melanoides tuberculatus* e *Corbicula fluminea*, pre-

judiciais à comunidade nativa, nos sítios 10 e 13. Mesmo com a presença dos moluscos *Biomphalaria sp.*, vetores do *Schistosoma mansoni*, e do gênero *Lymnaea*, transmissor da fasciolose, respectivamente nos rios São João (sítio 7) e Santa Bárbara (sítio 13), ambos os sítios foram, todavia, considerados em boas condições do ponto de vista da qualidade da água, porém a ocorrência desses moluscos representa sério risco para a saúde humana por serem potenciais transmissores dessas parasitoses.

Além da determinação da qualidade da água e da detecção de organismos de interesse sanitário, foi obtida uma avaliação da biodiversidade faunística nas áreas investigadas por intermédio dos macrozoobentos. Este estudo chegou a valores superiores de biodiversidade $H'2,93$ e $2,61$ nos sítios 1 e 6 e muito baixos $H'0,31$ e $0,56$ nos sítios 3 (invalidado) e no sítio 9, resultados que coincidem com os melhores e piores valores encontrados pelos índices bióticos ISMR e BMWP/ASPT.

Quadro 5 – Classificação da qualidade da água utilizada pelo *biological monitoring working party score system/average score per taxon* (BMWP/ASPT) Minas.

Classes de qualidade	Índice BMWP/ASPT	Qualidade da água	Cor indicativa
1	> 6,0	muito boa	
2	5,0–6,0	boa	
3	3,9–4,9	regular	
4	2,5–3,8	ruim	
5	< 2,5	péssima	

Quadro 6 – Resultados dos índices bióticos e classificação da qualidade da água na bacia de contribuição do reservatório de Peti, no alto Rio Doce (MG), em 2014.

Sítio	Curso de água	ISMR	Classe	Qualidade	Índice "BMWP"/ASPT	Classe	Qualidade
1	Rio Conceição	1,70	2	boa	5,8	2	boa
2	Rio Conceição	1,76	2	boa	5,8	2	boa
3	Rio Conceição	invalidado		invalidado			
4	Ribeirão Caraça	1,77	2	boa	5,8	2	boa
5	Ribeirão Caraça	invalidado		invalidado			
6	Rio São João	1,71	2	boa	5,9	2	boa
7	Rio São João	1,77	2	boa	5,9	2	boa
8	Rio São João	1,80	2	boa	5,9	2	boa
9	Rio São João	2,50	3	regular	3,3	4	ruim
10	Rio Santa Bárbara	2,24	3	regular	4,7	3	regular
11	Rio Santa Bárbara	2,21	3	regular	4,4	3	regular
12	Córrego da Represa	1,82	2	boa	5,3	2	boa
13	Rio Santa Bárbara	1,93	2	boa	5,1	2	boa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como constatado neste estudo, o uso de índices bióticos para monitorar a qualidade das águas com macroinvertebrados, além de avaliar a qualidade das águas, reflete as condições de integridade ecológica do ambiente aquático, fornecendo a avaliação da biodiversidade faunística, e ainda registra a presença de espécies invasoras, organismos transmissores de doenças de veiculação hídrica e informações complementares importantes na tomada de decisões para o enquadramento e gestão dos recursos hídricos.

As proposições metodológicas de índices bióticos para ambientes lóticos tropicais apresentadas neste trabalho são um passo importante na padronização metodológica necessária à aplicabilidade do biomonitoramento rotineiro no gerenciamento de bacias hidrográficas. Além disso, contribuem com metodologias consolidadas e apropriadas para o gerenciamento das bacias hidrográficas mineiras no âmbito dos órgãos gestores de recursos hídricos, das agências de bacias e outras entidades que determinam e estabelecem as diretrizes técnicas para a avaliação e o enquadramento dos ambientes aquáticos do estado, em atendimento à deliberação normativa conjunta do Conselho de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG) nº 001/2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Por outro lado, as revisões do ISMR e do BMWP/ASPT pretenderam disponibilizar métricas biológicas para servir de ferramentas no desenvolvimento de um sistema multimétrico de avaliação de qualidade ecológica de ambientes aquáticos, a exemplo do implantado na comunidade europeia. A classificação de qualidade das águas, na grande maioria dos sítios investigados na bacia do alto Rio Doce, foi igual nos dois índices revisados (Quadro 6). Essa similaridade de resultados mostrou coerência entre as respostas dos índices ISMR e

BMWP/ASPT, revelando que os índices revisados estão bastante consolidados e aptos a serem usados em biomonitoramentos no atendimento da legislação mineira.

Os cursos d'água estudados na bacia do Rio Santa Bárbara no alto Rio Doce, embora tenham alguns trechos bastante comprometidos, principalmente com rejeitos de mineração e esgotos domésticos, ainda possuem sistemas lóticos relativamente preservados nas cabeceiras dos rios Conceição e São João (sítios 1 e 6). Essas cabeceiras podem servir de áreas de referência na restauração de trechos impactados da bacia do Rio Doce pelo desastre da mineradora Samarco Mineração S.A., em 2016.

O uso de bioindicadores acusa alterações de poluição nas águas de cursos d'água que não podem ser detectadas em monitoramentos baseados apenas em alguns parâmetros físico-químicos. Isso porque existem mais de 11 milhões de substâncias químicas registradas no Chemical Abstracts Service (CAS), que podem potencialmente atingir o meio ambiente aquático. A análise dessas substâncias isoladamente não detecta os efeitos de ações recíprocas nem sinérgicas, ou antagônicas, que muitas vezes têm mais importância do que a grandeza absoluta de uma substância isolada. Portanto, em rios pouco a mediamente poluídos, onde é estimada a presença de 30 a 100 mil substâncias na água, o uso de organismos aquáticos como bioindicadores para aferir as condições de qualidade das águas é estratégica. Os organismos aquáticos continuamente expostos podem reagir e indicar integralmente os efeitos produzidos por todas as substâncias existentes na água, incluindo as substâncias novas, que surgem por meio de interações entre elementos e que se subtraem à análise química (KNIE, 1998), além de ser economicamente viáveis, quando comparados os preços de análises físico-químicas e biológicas, uma vez que a análise taxonômica, em monitoramentos, requer menos custos.

REFERÊNCIAS

- ALBA-TERCEDOR, J.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, n. 4, p. 51-56, 1988.
- ARAÚJO, P. R. P.; FRIEDRICH, G.; CORING, E. Use of artificial substrates for biological monitoring in the Guandu and Paraíba do Sul rivers, Rio de Janeiro State, Brazil. *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, v. 26, p. 1257-1259, 1998.

ARMITAGE, P. D.; MOSS, D.; WRIGHT, J. F.; FURSE, M. T. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, v. 17, p. 333-347, 1983. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(83\)90188-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(83)90188-4)

ASSESSMENT SYSTEM FOR THE ECOLOGICAL QUALITY OF STREAMS AND RIVERS THROUGHOUT EUROPE USING BENTHIC MACROINVERTEBRATE (AQEM - consortium). *Manual for the Application of the AQEM System: a comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive, version 1.0.* 2002. Disponível em: <www.aqem.de>. Acesso em: julho. 2016

BUSS, D. F.; CARLISLE, D. M.; CHON, T. S.; CULP, J.; HARDING, J. S.; KEIZER-VLEK, H. E.; ROBINSON, W. A.; STRACHAN, S.; THIRION, C.; HUGHES, R. M. Stream biomonitoring using macro-invertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, p. 4132, 2015. <https://doi.org/DOI: 10.1007/s10661-014-4132-8>

CENTRO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA SENAI FIEMG. *Ambientes Aquáticos em Minas Gerais: Qualidade Ecológica.* Belo Horizonte, 2017. 156 p.

CORING, E.; KÜCHENHOFF, B. Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs und Bewertungsmethoden für Fließgewässer. *Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen*, n. 18, p. S1-137, 1995.

COTA, L.; GOULART, M.; MORENO, P.; CALLISTO, M. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: a practical tool to evaluate ecosystem health. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, v. 28, p. 1713-1717, 2002.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). *Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung: Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) – Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern – DIN 38410-1.* Berlin, 2004.

_____. *Water quality: guidance on pro-rata multi-habitat sampling of benthic macro-invertebrates from wadeable rivers – DIN EN 16150.* European Standard. 2012.

FRIEDRICH, G.; ARAÚJO, P. R. P.; CRUZ, A. A. S. Proposta de Desenvolvimento de um sistema biológico-Limnológico para análise e avaliação de águas correntes no estado do Rio de Janeiro-Brasil. *Acta Limnológica Brasiliensia*, v. 3, p. 993-1000, 1990.

FRIEDRICH, G.; HERBST, V. Eine erneute Revision des Saprobien-system - Weshalb und wozu? *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica Banner*, v. 32, p. 61-74, 2004. <https://doi.org/10.1002/ahch.200300518>

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2017 - Resumo Executivo Anual.* Belo Horizonte: IGAM, 2018.

_____. *Monitoramento das Águas Superficiais e Subterrâneas das Sub-bacias dos Rios Verde Grande, Riachão e Jequitaiá na Bacia do Rio São Francisco, em Minas Gerais.* Relatório: Avaliação dos Resultados do Ano de 2005. Belo Horizonte: SEMAD/CODEVASF, 2007.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 8265: Water quality – Design and use of quantitative samplers for benthic macro-invertebrates on stony substrata in shallow freshwaters.* Suíça: ISO, 1988.

JUNQUEIRA, M. V.; AMARANTE, M. C.; DIAS, C. S.; FRANÇA, E. S. Biomonitoramento da qualidade das águas da bacia do alto rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados bentônicos. *Acta Limnológica Brasiliensia*, v. 12, p. 73-87, 2000.

JUNQUEIRA, M. V.; CAMPOS, M. C. S. Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnológica Brasiliensia*, v. 10, n. 2, p. 125-135, 1998.

- JUNQUEIRA, M. V.; CAMPOS, M. C. S. Notas Preliminares sobre o Desenvolvimento de Métodos de Bioindicadores da Qualidade de Água em Ambientes Lóticos Tropicais. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 34, n. 1, p. 109-124, 1991.
- JUNQUEIRA, V. M.; PATRICIO, C. F.; FERREIRA, M. H.L.; MELO, C. M.; ALVES, C. K.. *Padronização e consolidação metodológica de um índice biótico de qualidade de água para ambientes lóticos: Bacia do rio Paraíba do Sul*. Relatório Técnico final. Belo Horizonte: CETEC, 2007. 106 p.
- JUNQUEIRA, M. V.; FRIEDRICH, G. Avaliação da qualidade das águas da bacia do rio Paraíba do Sul através do índice "ISMR" adaptado para as comunidades de macroinvertebrados bentônicos tropicais do Brasil. *Revista MG.BIOTA*, v. 4, n. 1, p. 13-36, 2011.
- JUNQUEIRA, M. V.; FRIEDRICH, G.; ARAUJO P. R. A Saprobic index for biological assessment of river water quality in Brazil (Minas Gerais and Rio de Janeiro states). *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 163, p. 545-554, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0857-1>
- JUNQUEIRA, M. V.; GOMES, M. C. S. Avaliação de métodos de bioindicadores de qualidade da água. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 2, p. 153-155, 1988.
- JUNQUEIRA, M. V.; SOMMERHÄUSER, M. M. *Glossar der Binnengewässerökologie/Glossário de Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais*. Edição bilíngue: alemão/português. Belo Horizonte: CEMIG, 2014. 224 p.
- KNIE, J. *Desenvolvimento e aplicação de biotestes*. Relatório Técnico. Belo Horizonte: CETEC, 1998. 10 p.
- KOLKWITZ, R.; MARSSON, M. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. Mitt. kgl. *Prüfanstalt Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung*, v. 1, p. 33-72, 1902.
- MANDAVILLE, S. M. *Benthic macroinvertebrates in freshwaters: taxa tolerance values, metrics and protocols*. 2002. Disponível em: <<http://www.chebucto.ns.ca/science//SWCS/H-1/tolerance.pdf>>. Acesso em: 02/08/2018.
- MEIER, C.; BÖHMER, J.; BISS, R.; FELD, C.; HAASE, P.; LORENZ, A.; RAWER-JOST, C.; ROLAUFFS, P.; SCHINDEHÜTTE, K.; SCHÖLL, F.; SUNDERMANN, A.; ZENKER, A.; HERING, D. Weiterentwicklung und Anpassung des nationalen Bewertungssystems für Makrozoobenthos an neue internationale Vorgaben. *Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes*, 2006. 198 p. Disponível em: <<http://www.fliessgewaesserbewertung.de>>. Acesso em: 7 jun. 2017.
- MINAS GERAIS. Conselho de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008. 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 *Diário do Executivo de Minas Gerais*, 13 maio 2008.
- ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. *Fresh water biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Nova York: Chapman & Hall, 1993. 488 p.
- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). *Aperfeiçoamento do monitoramento da qualidade das águas da bacia do alto curso do rio das Velhas*. Relatório do PNMA II/Ministério do Meio Ambiente. Belo Horizonte: SEMAD, 2005.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 117 p.
- ZELINKA, M.; MARVAN, P. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archives für Hydrobiologie*, v. 57, p. 389-407, 1961.

