



Universidade Estadual Paulista
Instituto de Biociências
Pós Graduação em Ciências Biológicas – Zoologia

Dissertação de Mestrado

Impacto da construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados a pedrais: um estudo de caso no rio Sapucaí-Mirim (SP)

Ana Maria Cirino Ruocco

Orientador: Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira

Botucatu – SP
2014

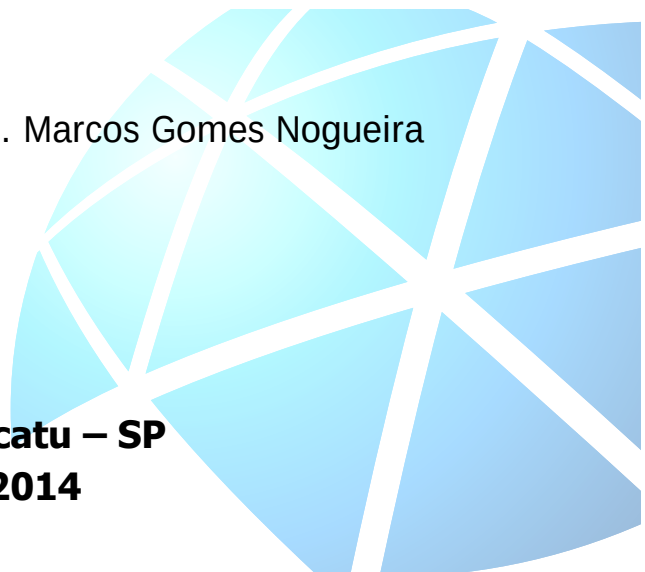
Impacto da construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados a pedrais: um estudo de caso no rio Sapucaí-Mirim (SP)

Ana Maria Cirino Ruocco

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Biológicas (Zoologia), Área de Concentração: Ecologia Animal

Orientador: Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira

**Botucatu – SP
2014**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE - CRB 8/5651

Ruocco, Ana Maria Cirino.

Impacto da construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados à pedrais : um estudo de caso no rio Sapucaí-Mirim (SP) / Ana Maria Cirino Ruocco. - Botucatu, 2014

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Marcos Gomes Nogueira

Capes: 20500009

1. Usinas hidrelétricas - Aspectos ambientais. 2. Macroinvertebrados bentônicos. 3. Avaliação de riscos ambientais. 4. Barragens e açudes. 5. Heterogeneidade ecológica. 6. Biodiversidade - Conservação.

Palavras-chave: Alterações ambientais; Barragens; Heterogeneidade espacial; Invertebrados aquáticos; Rio Sapucaí-Mirim.

“Se enxerguei mais longe é porque subi no ombro de gigantes.”

Isaac Newton

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Gomes Nogueira, por ter me aceito como aluna e confiado no meu trabalho. Muito obrigada pela amizade, apoio, ensinamentos e oportunidades concedidas. Sem dúvida é um profissional que ama o que faz e um exemplo a ser seguido!

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os membros da empresa Limnética Consultoria em Recursos Hídricos, bem como à empresa CELAN e Duke Energy Brasil pela parceria na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Roberto da Gama Alves do Departamento de Zoologia da UFJF, que tão bem me recebeu em seu laboratório, e a sua aluna de mestrado Luciana Falci. Obrigada pela oportunidade de aprendizado sobre identificação de oligoquetos, pela paciência e hospitalidade.

A Professora Dra. Virgínia Sanches Uieda do Departamento de Zoologia da UNESP de Botucatu, que mesmo com todas as suas ocupações, sempre foi muito atenciosa, me aconselhando e auxiliando na identificação dos macroinvertebrados.

A Rosemary Cristina Souza Davanso por ter despendido horas na lupa, me auxiliando e identificando os diversos grupos de macroinvertebrados. Obrigada pela prontidão, paciência e por ter tornado cada um desses momentos mais divertidos.

A Adriana Jorcin pela receptividade, ensinamentos e esclarecimentos na identificação dos macroinvertebrados.

Ao Professor Dr. Raoul Henry pelo convívio e pelas valiosas sugestões que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

A todos os amigos do laboratório de Ecologia de Águas Continentais e seus respectivos: Marco Aurélio, Jorge, Juliana Pomari, Danilo, Clivia, Zé, Jú, Spoke, Dani, Mirian, Carolzinha, Natália, Eduardo, Carol mineira, Rosa, Rose, Ronaldo, Raspa, Silvia, Pitot, Miko, Gilmar, Limão e Ricardo, sem os quais eu nada seria. Muito obrigada pela agradável convivência, amizade, apoio, paciência, ensinamentos, caronas... A colaboração de vocês foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho!

Em especial, Marco e Danilo, obrigada pelo auxílio no trabalho de campo.

Ao Marco também agradeço pela parceria nas coletas, por toda gentileza e cuidado que sempre teve por mim. Muito obrigada também pelos esmaltes comprados.

Ao Dan, agradeço pela confecção dos mapas, conselhos, correções, ensinamentos e por todo apoio! Agradeço também por mentir para mim, com você aprendi a não acreditar nas pessoas, rs.

Ao Jorge, pelas análises estatísticas, dicas, ensinamentos, conversas e por me garantir aquele mistinho quente todas as manhãs.

Ao Zé, por sempre se dispor a ajudar, pelas caronas salvadoras, por ser meu técnico de informática particular, meu companheiro das horas extras, apesar de ser tão implicante e chato.

A Carolzinha, que desde o meu ingresso no laboratório foi sempre muito atenciosa e paciente, me ensinando e auxiliando no que precisei. Obrigada pela amizade!

A Mirian, uma pessoa sempre muito doce, obrigada pelo auxílio nesta reta final, por todo apoio e atenção. Agradeço também por ter sido minha companheira nas horas de descontração.

A Rosita, por cuidar de mim e ser minha mãe adotiva.

A Ná, pelas conversas, ajudas, conselhos e comidinhas.

Ao Gilmar e a Limão, que mesmo distantes se fizeram presentes, sanando dúvidas e disponibilizando materiais.

A Juliana e Silvia, por todos os ensinamentos, atenção e sábias opiniões.

Aos colegas de corredor, vulgo tonetes, pela convivência, parceria e conversas na hora do café.

Aos funcionários do departamento de Zoologia da Unesp, Campus de Botucatu, Juliana, Flávio, Silvio, Hamilton e Carol pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

As meninas da limpeza, que tornam nosso espaço de trabalho em um ambiente mais agradável.

Aos amigos de graduação e república, minha segunda família, muito obrigada por estarem sempre ao meu lado.

A minha família, que me apoiou e me incentivou ao longo de toda essa jornada.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente me ajudaram nesta etapa, meu
MUITO OBRIGADA!

Sumário

Apresentação	7
Abstract	8
Resumo	9
Introdução	10
Materiais e Métodos	12
Área de estudo	12
Desenho do estudo	14
Análise dos dados	16
Resultados	18
Parâmetros Ambientais	18
Macroinvertebrados	22
Discussão e Conclusão	27
Referências Bibliográficas	31
Anexos	40
Anexo 1	41
Anexo 2	43
Anexo 3	44
Anexo 4	48

Apresentação

Atualmente, a instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) tem sido uma alternativa energética que se encontra em plena expansão, podendo apresentar vantagens em termos ambientais, sociais e econômicos, quando comparada à construção de grandes usinas hidrelétricas. Segundo dados obtidos na Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (sigel.aneel.gov.br), no Brasil totalizam-se 459 PCHs em operação, com mais 1756 projetos previstos para implantação nos próximos anos. Contudo, apesar deste visível crescimento no número de instalações de PCHs, ainda são escassos os trabalhos que analisam as alterações ambientais causadas por essas usinas de pequeno porte no Brasil.

O presente estudo procurou investigar os efeitos do alagamento decorrente da construção de uma pequena central hidrelétrica sobre a fauna de macroinvertebrados aquáticos associados a pedrais. Para isso, foram estudados dois ambientes distintos no rio Sapucaí-Mirim (SP), sendo um pedral funcional, que ainda mantém as características naturais do rio, e um pedral já impactado pelo alagamento oriundo da PCH. Vale ressaltar que, além deste, outros seis projetos acadêmicos relacionados aos impactos ambientais provenientes da construção de PCHs no rio Sapucaí-Mirim estão em andamento ou já foram finalizados por alunos do programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Zoologia, da UNESP Botucatu.

Em termos de estrutura da dissertação, optou-se pela redação em uma forma mais compacta, seguindo estilo de um artigo científico. O mesmo envolve a caracterização ambiental dos locais amostrados e análise das comunidades de macroinvertebrados. As referências bibliográficas foram elaboradas segundo as normas da revista *Hydrobiologia*.

Abstract

Small hydroelectric power plants are the most used alternative to generate and provide electricity with less environmental impact. Nevertheless, there are few studies which evaluate the environmental alterations caused by these projects. The present study aimed to evaluate the impacts of a small hydroelectric power plant on the aquatic macroinvertebrate fauna associated to riffles. The macroinvertebrates were sampled in two riffles in the Sapucaí-Mirim River (São Paulo State, Brazil); the first one was considered as functional, maintaining the natural characteristics of the river; the second riffle was considered as non-functional due to its permanent flooding after the building of the small hydroelectric power plant. The samplings were carried out in two seasonal periods and the data were analyzed through multivariate analysis. It was concluded that the implementation of the small hydroelectric power plant caused compositional and structural alterations of the macroinvertebrate fauna, with reduction of richness, abundance and diversity of these organisms. In addition, it was highlighted the interference of the small hydroelectric power plants in the downstream transportation and survival of organisms, changing downstream systems. It is suggested that maintaining riffles along the river allow the conservation of regional aquatic biodiversity.

Key-words: aquatic invertebrates, dam, environmental alteration, Sapucaí-Mirim River, spatial heterogeneity.

Resumo

Atualmente, a instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) tem sido a alternativa mais visada quando a questão é suprir a demanda energética considerando-se os menores impactos ambientais possíveis. Contudo, são escassos os trabalhos que avaliam as alterações causadas por esses empreendimentos. Este estudo procurou avaliar o impacto da construção de uma PCH sobre a fauna de macroinvertebrados aquáticos associados aos ambientes de pedrais. Para isso, amostras de macroinvertebrados foram coletadas em dois pedrais localizados no rio Sapucaí-Mirim (SP); o primeiro deles considerado como um pedral funcional, ou seja, que mantém as características naturais do rio, e o segundo, um pedral alagado em decorrência da instalação de uma PCH. As amostragens foram realizadas em dois períodos do ano e os dados avaliados através de análises multivariadas. Concluímos que a implantação da PCH acarretou alterações na composição e estrutura da comunidade de macroinvertebrados, com redução nos valores de riqueza, abundância e diversidade desses animais. Além disso, destacamos o fato de a construção de pequenas barragens interferirem no processo de transporte e sobrevivência dos organismos, alterando os sistemas a jusante. Assim, sugerimos que a manutenção de pedrais ao longo do rio é fundamental para conservação da biodiversidade aquática regional.

Palavras-chave: alterações ambientais, barragens, heterogeneidade espacial, invertebrados aquáticos, rio Sapucaí-Mirim.

Introdução

A construção de barragens é uma das mais antigas formas de intervenção humana sobre os sistemas naturais (Esteves, 2011; Tundisi, 2007; Kennedy, 1999). De maneira geral, essas grandes obras da engenharia constituem novas paisagens, provocando importantes mudanças sociais, econômicas e ambientais nas bacias hidrográficas em que são instaladas (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 2008; Nogueira et al., 2006; Kelman et al., 2002; Thornton, 1990).

Atualmente, a implantação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) é uma estratégia adotada em vários países (e.g. Jesus et al., 2004; Xiaocheng et al., 2008; Valero, 2012; Mihailova et al., 2013), já que estes empreendimentos são considerados como uma opção renovável e sustentável para suprir demandas energéticas regionais (Monteiro, 1996; Jesus et al., 2004). No Brasil, PCHs caracterizam-se pelo pequeno porte, capacidade instalada de 1 a 30 MW de potência, e pelo tamanho do reservatório, que deve possuir uma área total igual ou inferior a três quilômetros quadrados (Resolução nº 394 de 04/12/1998-ANEEL).

No entanto, a vantagem ambiental dessas obras ainda é muito incerta. Inúmeros estudos relatam os impactos oriundos da construção de reservatórios de grandes usinas hidrelétricas, todavia são escassos os trabalhos que analisam os impactos de pequenas centrais. Valero (2012) abordou alguns valores ecológicos que são ameaçados por esta forma de produção de energia: muitas PCHs localizam-se em ecossistemas lóticos importantes, normalmente rios de baixa ordem, e geralmente estão em áreas de alto valor ecológico, como por exemplo, os ambientes de pedrais. Áreas de substrato geológico consolidado, como os pedrais, são justamente aquelas priorizadas pela engenharia para a construção dos eixos de barragens.

Pedrais, também identificados como regiões de pequenas cascatas e corredeiras sucessivas, possuem além do substrato rochoso, fluxo de água turbulento e normalmente são rasos (Keller, 1992). Suas características hidráulicas são muito variáveis, sendo altamente influenciadas pelas condições sazonais. Assim, esses ambientes apresentam alternância entre períodos de alagamento e de exposição parcial das rochas. Devido ao tipo de substrato e a suas características hidráulicas, espera-se que estes ambientes possuam alta heterogeneidade espacial e, conseqüentemente, apresentem diversidade biológica e produtividade potencialmente elevadas (Downes et al., 1998; Reid & Thoms, 2008; Kovalenko et al., 2012).

A implantação de pequenas centrais hidrelétricas afeta os ambientes de pedrais alterando a profundidade dos corpos d'água, o regime hidrológico natural e o transporte de sedimentos (Jesus et al., 2004; Bufon & Landin, 2007; Pimenta et al., 2012). As comunidades aquáticas, incluindo os macroinvertebrados, sofrem perturbações intensas diante dessas modificações, podendo acarretar redução na riqueza, densidade, diversidade e biomassa desses organismos (Townsend, 1989; Cortes et al., 2002; Harrison et al., 2007).

Os macroinvertebrados constituem um importante elo das cadeias alimentares, sendo sua presença fundamental para a dinâmica dos ecossistemas aquáticos. Esses organismos também participam de trocas de nutrientes entre sedimento e a água de interface, como por exemplo fósforo e nitrogênio, seja através das atividades de escavação/bioturbação ou pela atuação direta na fragmentação/decomposição/mineralização da matéria orgânica. Além disso, constituem uma comunidade particularmente indicadora de mudanças no ambiente aquático.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da construção de uma PCH sobre a comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados aos ambientes de pedrais. Para isso, comparamos um pedral funcional, ou seja, que

mantém as características naturais do rio, e um alagado, em relação à composição e estrutura da comunidade. Parte-se da premissa de se haver uma significativa alteração da estrutura e funcionamento ecológico desses ambientes devido ao aumento do nível de água, com permanente alagamento e atenuação da variação sazonal.

Materiais e Métodos

Área de estudo

O rio Sapucaí-Mirim localiza-se na bacia do rio Paraná, sub-bacia do rio Grande, entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, sudeste do Brasil; percorre aproximadamente 290 km de extensão e apresenta características lóticis típicas, com fortes corredeiras e pequenas quedas d'água (Souza, 2014).

Devido as suas características geomorfológicas, o rio Sapucaí-Mirim tem sido alvo da construção de PCHs dispostas em cascata. Atualmente este rio comporta cinco pequenas centrais hidrelétricas em operação (Dourados, São Joaquim, Palmeiras, Anhanguera e Retiro) e outros cinco novos projetos encontram-se em processo de licenciamento (ANEEL, 2014). Em decorrência da instalação desses empreendimentos hidrelétricos, muitos pedrais foram alagados neste rio, perdendo sua função ecológica original.

Para o estudo foram selecionados dois pedrais localizados na região da PCH Palmeiras, município de São Joaquim da Barra/SP, sendo um deles classificado como pedral funcional (F), e o outro, alagado (A). O pedral funcional localiza-se fora da área de influência direta da PCH Palmeiras (20°34'34,1"S 47°47'06,5"W) apresentando assim, uma dinâmica natural de flutuação no nível da água, enquanto que o pedral alagado, cerca de 3,5 quilômetros a jusante do primeiro,

encontra-se no compartimento intermediário do reservatório (20°34'04,6''S 47°47'42,7''W), o qual foi inundado há aproximadamente três anos (Figura 1).

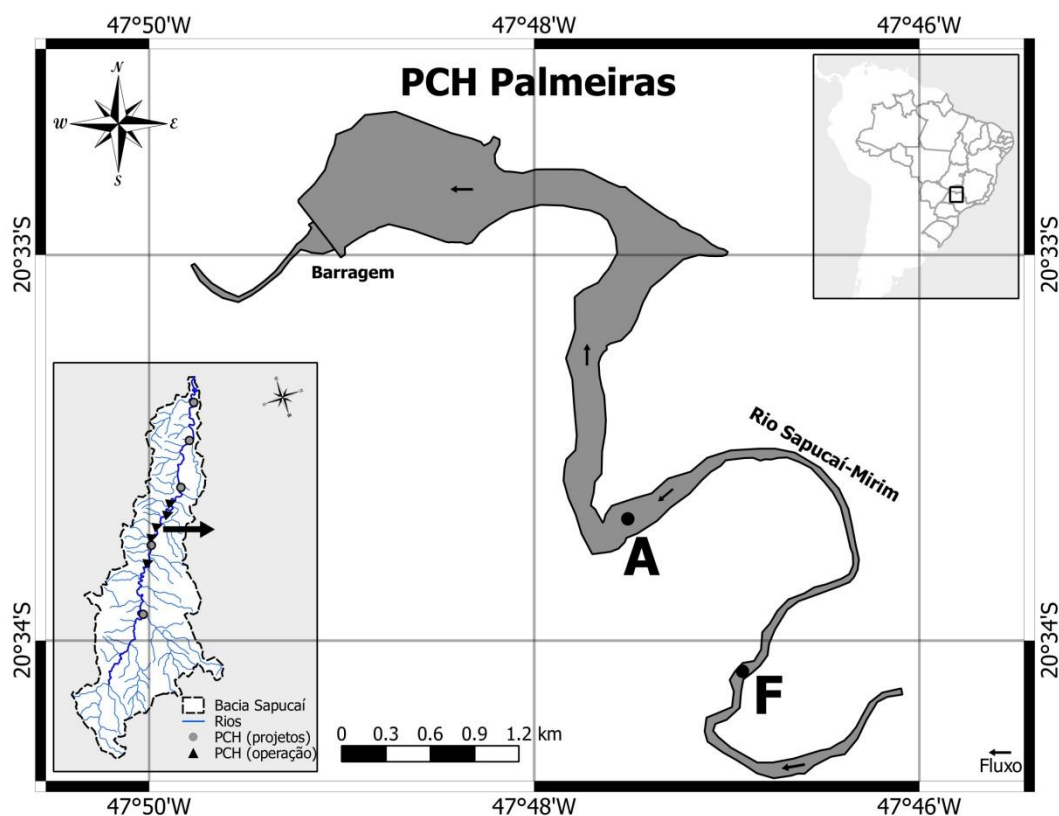


Figura 1. Mapa da PCH Palmeiras, rio Sapucaí-Mirim (SP), destacando-se os locais de amostragem. Em detalhe, mapas da localização geográfica e da sub-bacia do rio Sapucaí-Mirim, mostrando os empreendimentos hidrelétricos (operação e implementação) encontrados no rio. F: pedral funcional; A: pedral alagado

A PCH Palmeiras opera com um reservatório do tipo fio d' água, caracterizado por apresentar um baixo tempo de retenção hidráulica (média de 2,06 dias). Possui um volume de $14,74 \times 10^6 \text{ m}^3$, área de 263 ha, profundidade média de 8 m e máxima de 15 m, queda de 13 m e produção instalada de 16,5 MW. (DEB, 2014).

As margens do pedral funcional apresentam remanescentes de vegetação ripária nativa em uma faixa de aproximadamente 100 metros. O entorno do

pedral alagado apresenta vegetação herbácea arbustiva, arbórea escassa e em processo de implantação através de reflorestamento induzido das áreas de preservação permanente (APPs). O plantio de espécies nativas foi uma condicionante ambiental para o empreendimento. Ainda, o entorno do pedral alagado possui áreas de cultivo, nas quais se pode destacar a cana-de-açúcar, milho e soja como culturas temporárias. A braquiária é o capim mais comum nas áreas de pastagem (Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Sapucaí - Mirim/Grande - UGRHI 08, 2010) (Anexo 1).

A Figura 2 mostra as condições metereológicas da área de estudo no período que antecedeu as amostragens.

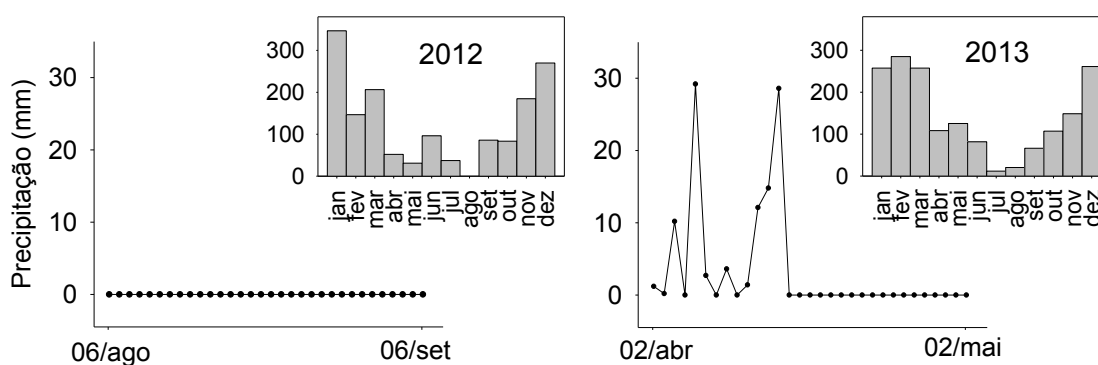


Figura 2. Pluviosidade diária (mm) registrada no mês que antecedeu cada uma das datas de amostragem e a pluviosidade anual (mm) do período de estudo. (Dados obtidos em INMET, estação meteorológica de Franca/SP)

Desenho do estudo

Em cada um dos pedrais selecionados definiu-se um transecto transversal ao longo do qual foram coletadas 24 amostras para o estudo dos macroinvertebrados aquáticos. Os tipos de amostradores foram definidos em função de serem aqueles melhor indicados diante das características de cada local amostrado, como tipo de sedimento e profundidade (Brandimarte et al.,

2004). Assim, no pedral funcional foi utilizado um surber de malha de 250 micrômetros ($0,09 \text{ m}^2$) e no pedral alagado, uma draga de van Veen ($0,0198 \text{ m}^2$). Para que a comparação fosse possível, houve uma padronização da unidade em indivíduos por área.

As amostras foram lavadas em peneira ou rede de malha de 250 micrômetros, fixadas com formol 4% e armazenadas em álcool 70%. Em laboratório, as amostras foram triadas e os organismos identificados até o menor nível taxonômico possível com auxílio de bibliografia especializada (Pennak, 1989; Domínguez & Fernández, 1992; Lopretto & Tell, 1995; Merritt & Cummins, 1996; Mugnai et al., 2010; Brinkhurst & Marchese, 1989; Krantz & Walter, 2009; Mariano & Froehlich, 2007).

Parâmetros ambientais foram mensurados em três pontos de cada um dos pedrais (margem direita, centro e margem esquerda). Na Tabela 1 encontram-se discriminadas as metodologias utilizadas para a determinação dos parâmetros selecionados. A análise de perifíton foi realizada apenas no pedral funcional. Nitrogênio total, fósforo total e matéria orgânica no sedimento foram analisados apenas no pedral alagado.

As amostragens foram realizadas em dois períodos do ano, setembro de 2012 (S), mais especificadamente no dia 06, e em maio de 2013 (M), dia 02. Durante a segunda amostragem, o acesso à margem direita do rio foi restrito devido às intensas condições de fluxo.

Tabela 1. Relação dos parâmetros ambientais mensurados nos pedrais funcional e alagado, abreviações e metodologias/referências utilizadas para determinação das variáveis.

Parâmetros Ambientais	Metodologia empregada
Profundidade	Sonar (Speedtech®)/Régua
pH, condutividade elétrica (k), turbidez (Turb), oxigênio dissolvido (OD), % saturação do oxigênio, temperatura (T), potencial de óxido-redução (ORP), sólidos totais dissolvidos (TDS)	Sonda multiparâmetros Horiba (U-52)
Clorofila <i>a</i> (Cloro <i>a</i>), Perifíton	Talling & Driver, 1963
Material suspenso total (MST), material suspenso orgânico (MSO), material suspenso inorgânico (MSI)	Método gravimétrico (Cole, 1979)
Sólidos totais	APHA, 2005
Nitrogênio total - água (Nt)	Mackereth et al., 1989
Fósforo total - água (Pt)	Strickland & Parsons, 1960
Nitrogênio total - sedimento	Andersen, 1976
Fósforo total - sedimento	APHA, 2002
Matéria orgânica - sedimento	Hakanson & Janson, 1983
Composição granulométrica	Hakanson & Janson, 1983/Método visual

Análise dos dados

Com os dados obtidos pela contagem das amostras foram calculados os índices de Diversidade de Shannon-Wiener (H') e Equitabilidade de Pielou (J') através do programa PAST v2.03. A abundância relativa dos principais grupos taxonômicos encontrados também foi calculada.

Para avaliar como a construção da PCH alterou a composição e estrutura da comunidade de macroinvertebrados nos pedrais foi realizada uma Ordenação

de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (nMDS). O coeficiente de dissimilaridade de Bray-Curtis foi utilizado e a matriz de dados transformada em raiz quadrada (Clarke & Warwick, 2001).

As análises de similaridade (ANOSIM) e de composição específica (SIMPER) foram aplicadas nos grupos formados pela nMDS. A ANOSIM testou a hipótese nula de diferença na composição e estrutura da comunidade entre os grupos e a análise SIMPER determinou os principais táxons responsáveis pela diferença entre os grupos. Para essas análises, foi utilizado o software PRIMER v.6.1.6 (Field et al., 1982; Clarke & Green, 1988; Clarke, 1993; Clarke et al., 1993; Clarke & Warwick, 1994).

Uma ANOVA two-way foi realizada no programa Statistica 7.0 para comparação dos atributos ecológicos da comunidade (riqueza, abundância absoluta, diversidade de Shannon-Wiener e equitabilidade de Pielou) (Zar, 1999). Foram considerados como fatores os locais e períodos de amostragem. As comparações múltiplas dos dados foram executadas através do teste de Tukey.

Os dados dos parâmetros ambientais foram ordenados segundo análise de componentes principais (ACP, Primer v 6.0), a fim de se detectar algum padrão de variação espacial e temporal (Clarke & Gorley, 2006). Diferenças significativas entre locais e períodos ($p \leq 0,05$) foram detectadas pela análise de variância ANOVA two-way e identificadas pelo teste de Tukey. Para isso, os dados foram transformados em $\log(x+1)$, com exceção do pH.

As possíveis correlações dos macroinvertebrados com os parâmetros ambientais mensurados foram determinadas através de uma matriz de correlação simples/coeficiente de correlação de r de Pearson. Foram considerados os valores de riqueza e abundância total dos macroinvertebrados registrados em cada local amostrado e os táxons selecionados pela análise SIMPER. Contudo, optou-se em não apresentar estes resultados devido à inconsistência da análise.

Resultados

Parâmetros ambientais

A análise granulométrica realizada nos dois períodos de amostragem apontou que o pedral funcional é composto principalmente por matacão, enquanto que o pedral alagado possui areia fina, muito fina e, em maiores proporções, silte e argila (Figura 3).

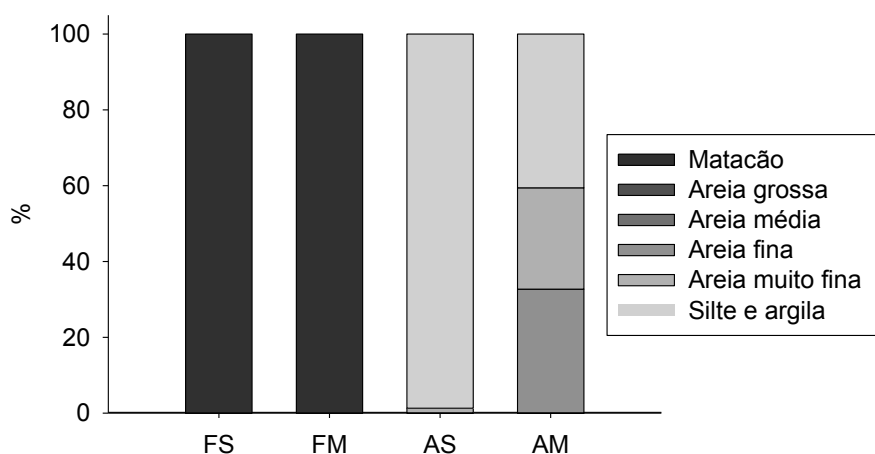


Figura 3. Composição granulométrica do sedimento (% frações) em cada um dos locais amostrados, pedral funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013. F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013

A Tabela 2 apresenta os resultados (médias, desvios-padrão e diferenças significativas) das variáveis ambientais determinadas nos dois tipos de ambiente e em ambos os períodos do ano.

Tabela 2. Valores médios e desvio-padrão dos parâmetros ambientais mensurados nos pedrais funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013. Letras distintas indicam diferenças significativas entre valores do mesmo parâmetro (Tukey, $p < 0,05$)

Variáveis ambientais	Pedral funcional		Pedral alagado	
	Set/2012	Mai/2013	Set/2012	Mai/2013
Profundidade (m)*	0,46±0,16	-	3,27±1,50	2,93±1,27
pH	7,15±0,08 ^a	6,04±0,05 ^b	6,73±0,37 ^a	6,36±0,04 ^{b,c}
Condutividade (mS cm ⁻¹)	94,00±0,00 ^b	57,33±0,58 ^c	103,33±0,58 ^a	56,33±0,58 ^c
Turbidez (NTU)	13,40±3,55 ^b	48,83±1,33 ^a	12,00±0,20 ^b	41,17±5,20 ^a
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	9,33±0,61 ^a	9,10±0,31 ^a	7,79±0,34 ^b	9,42±0,03 ^a
% Saturação do oxigênio	110,33±6,86 ^a	103,10±3,48 ^{a,b}	92,87±4,01 ^b	108,57±1,03 ^a
Temperatura da água (°C)	22,53±0,21 ^{b,d}	20,10±0,03 ^{b,c}	23,09±0,4 ^{a,d}	21,09±0,70 ^{a,c}
Potencial de óxido-redução	266,67±4,62 ^b	325,67±3,51 ^a	287,67±18,72 ^b	299,67±22,68 ^b
Sólidos totais dissolvidos (mg L ⁻¹)	0,06±0,00 ^b	0,04±0,00 ^c	0,07±0,00 ^a	0,04±0,00 ^c
Clorofila a (µg L ⁻¹)	0,53±0,03 ^c	2,35±0,43 ^b	0,63±0,05 ^c	3,81±0,46 ^a
Perifíton (mg L ⁻¹ m ⁻²)*	3,92±0,63	0,55	-	-
Material suspenso total (mg L ⁻¹)	5,30±0,36 ^b	25,11±3,62 ^a	5,75±1,08 ^b	19,27±7,76 ^a
Material suspenso orgânico (mg L ⁻¹)	1,61±0,09 ^b	5,58±0,58 ^a	1,99±0,62 ^b	4,34±1,63 ^a
Material suspenso inorgânico (mg L ⁻¹)	3,69±0,38 ^b	19,53±3,09 ^a	3,77±1,59 ^b	14,93±6,14 ^a
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	67,00±3,00 ^a	66,00±10,39 ^a	73,67±6,11 ^a	57,00±7,94 ^a
Nitrogênio total - água (µg L ⁻¹)	1950±199,77 ^{b,d}	588,55±24,74 ^{b,d}	2160,50±83,23 ^{a,c}	804,37±202,20 ^{a,c}
Fósforo total - água (µg L ⁻¹)	19,96±0,35 ^a	17,05±0,44 ^c	20,30±0,35 ^a	18,28±0,19 ^b
Nt - sedimento (mg kg ⁻¹)*	-	-	0,23±0,01	2,71±1,32
Pt - sedimento (mg kg ⁻¹)*	-	-	0,85±0,14	0,12±0,09
Matéria orgânica - sedimento (%)*	-	-	22,12±3,26	8,21±10,12

*Nota: Variáveis excluídas das análises estatísticas por serem exclusivas de um dos locais amostrados ou devido a perda de informação.

Os resultados obtidos através da ANOVA two-way confirmaram haver diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os meses de setembro de 2012 e maio de 2013 para todos os parâmetros ambientais avaliados, exceto para o percentual de saturação do oxigênio e sólidos totais. Esta última foi a única variável que não apresentou diferenças sazonais e espaciais significativas. As demais diferiram entre locais e/ou na interação entre fatores ($p < 0,05$) (Tabela 2; Anexo 2).

A análise de componentes principais (ACP) explicou 89,8% da variabilidade dos dados ambientais, considerando-se os dois primeiros eixos (Componente 1: 74,2% e Componente 2: 15,6%). O gráfico de ordenação gerado apontou diferenças claras entre os locais (funcional e alagado) e os períodos amostrados (Figura 4).

Ambos os pedrais foram dispostos positivamente no eixo 1 no mês de maio de 2013 e estiveram associados a valores elevados de turbidez, oxigênio dissolvido, percentual de saturação do oxigênio, potencial de óxido-redução, clorofila a, material suspenso total, orgânico e inorgânico. O inverso ocorreu no mês de setembro de 2012, em que tanto o pedral funcional como o alagado posicionaram-se negativamente no eixo 1 e estiveram associados a valores elevados de pH, condutividade, temperatura, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais, nitrogênio e fósforo total na água (Figura 4). Baixos valores de correlação foram obtidos no eixo 1 (Tabela 3).

O posicionamento dos locais em relação ao eixo 2, para um mesmo período, evidenciou as diferenças na organização espacial do sistema. Em setembro os pontos de amostragem do pedral funcional se posicionaram no lado positivo desse componente enquanto que os pontos do alagado ficaram do lado negativo. Em maio o pedral alagado ficou do lado negativo e o funcional do lado positivo (Figura 4). O oxigênio dissolvido e o percentual de saturação do oxigênio tiveram a maior correlação positiva com o eixo 2 (Tabela 3), associados

ao pedral funcional no mês de setembro de 2012 e ao pedral alagado no mês de maio de 2013. O potencial de óxido-redução e sólidos totais foram negativamente correlacionados a este eixo e estiveram associados ao pedral funcional no mês de maio de 2013 e ao pedral alagado no mês de setembro de 2012 (Figura 4).

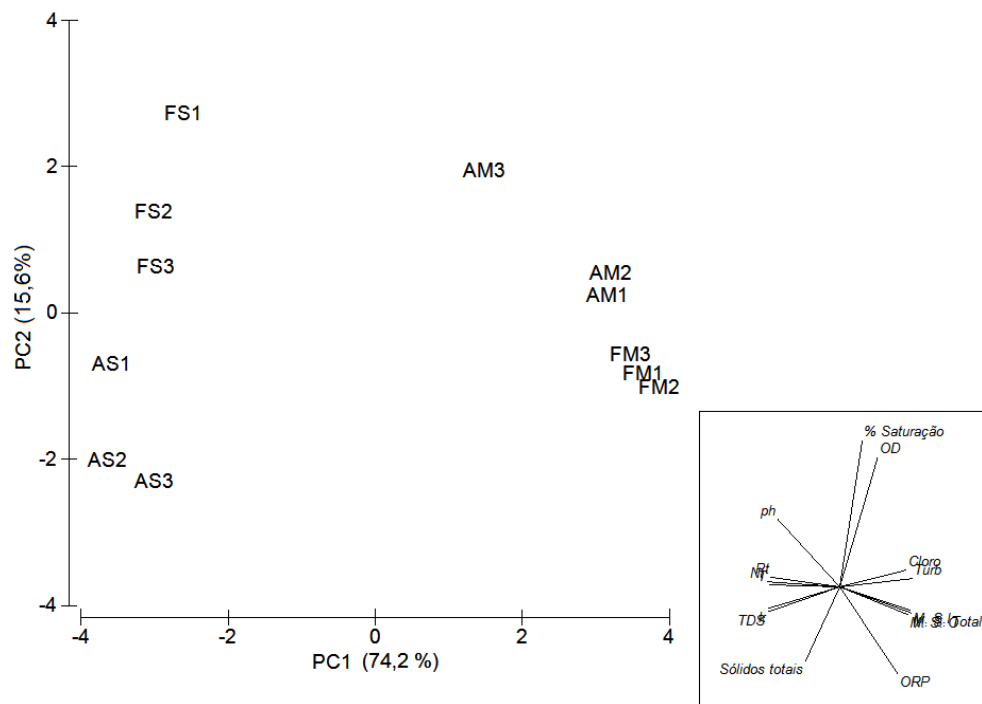


Figura 4. Ordenação dos parâmetros ambientais mensurados nos pedrais funcional e alagado nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013 pela análise de componentes principais (ACP). F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013; 1: margem direita; 2: centro; 3: margem esquerda

Tabela 3. Valores dos coeficientes das combinações lineares dos parâmetros ambientais nos dois principais eixos da Análise de Componentes Principais (ACP)

Variáveis ambientais	CP1	CP2
pH	-0,252	0,276
Condutividade	-0,293	-0,089
Turbidez	0,297	0,034
Oxigênio dissolvido	0,155	0,531
% Saturação do O ₂	0,092	0,602
Temperatura - água	-0,288	0,009
Potencial de óxido-redução	0,237	-0,358
Sólidos totais dissolvidos	-0,293	-0,103
Clorofila a	0,271	0,069
Material suspenso total	0,291	-0,106
Material suspenso orgânico	0,278	-0,114
Material suspenso inorgânico	0,288	-0,096
Sólidos totais	-0,139	-0,303
Nitrogênio total - água	-0,297	0,021
Fósforo total - água	-0,280	0,039

Macroinvertebrados

Um total de 81 táxons, pertencentes aos grupos Cnidaria, Nemertea, Platyhelminthes, Nematoda, Annelida, Crustacea, Acari, Entognatha, Insecta e Mollusca, foi encontrado nas 96 amostras coletadas para análise dos macroinvertebrados aquáticos. Desses, 38 foram exclusivos do pedral funcional e nove do pedral alagado. A lista de ocorrência é apresentada no Anexo 3.

Considerando o conjunto de dados, os maiores valores de riqueza de táxons foram observados no pedral funcional no mês de setembro de 2012 ($S'=65$) e maio de 2013 ($S'=45$) (Figura 5a). A abundância absoluta foi elevada no pedral funcional no mês de setembro de 2012 (2679 indivíduos m^{-2}) e no pedral alagado no mês de maio de 2013 (2513 indivíduos m^{-2}) (Figura 5b).

Os valores de diversidade variaram de 2,41 bits ind^{-1} no pedral funcional no mês de setembro de 2012 a 0,93 bits ind^{-1} no pedral alagado, no mesmo período. A

equitabilidade foi menor no pedral alagado no mês de setembro de 2012, refletindo a condição de dominância do grupo Oligochaeta (Figura 5c).

Diptera foi o grupo que apresentou maior representatividade no pedral funcional em ambos os períodos (46%), seguido de Trichoptera (FS: 23%; FM: 19%) e Ephemeroptera (FS: 10%; FM: 23%). No pedral alagado, Oligochaeta (AS: 71%; AM: 44%) e Diptera (AS: 18%; AM: 30%) foram os táxons mais representativos (Figura 5d).

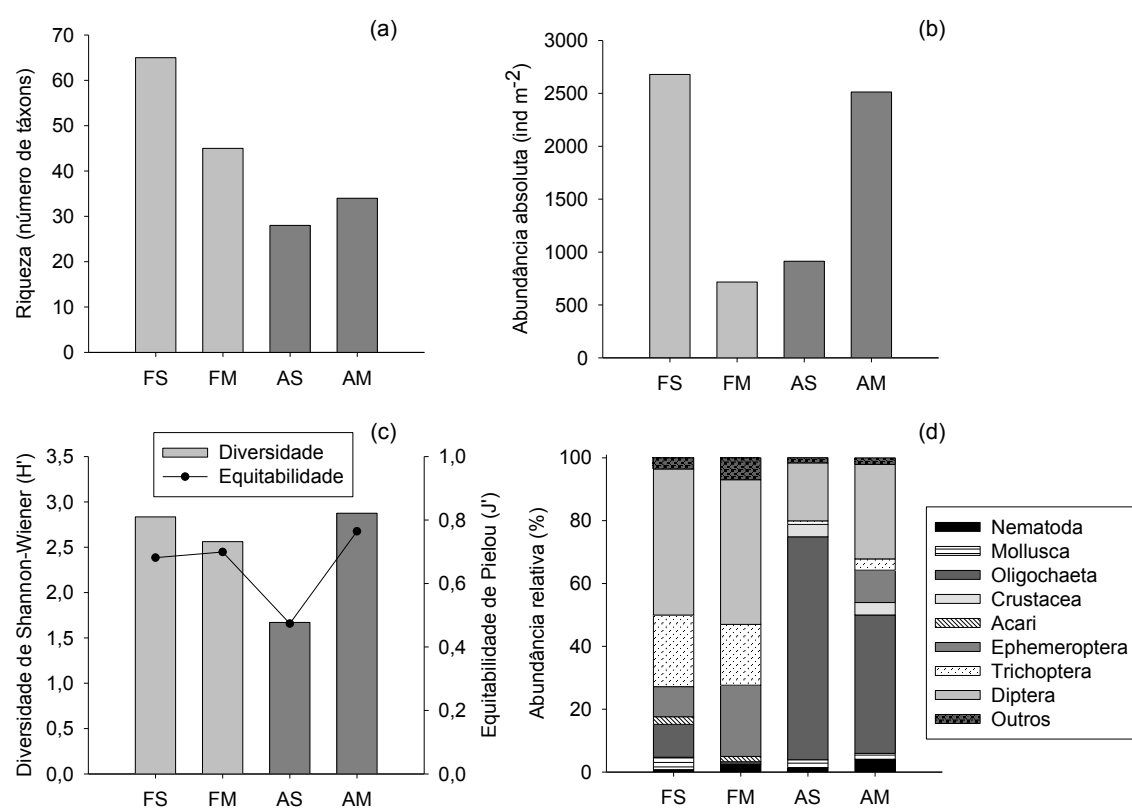


Figura 5. Variação da riqueza (a), abundância absoluta (b), índice de diversidade de Shannon-Wiener, equitabilidade de Pielou (c) e abundância relativa dos principais grupos taxonômicos de macroinvertebrados (d) encontrados nos pedrais funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013. F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013

A ANOVA two-way realizada com os atributos ecológicos dos macroinvertebrados mostrou que os valores médios da riqueza de táxons ($p=0,000$; $F=17,12$), abundância absoluta ($p=0,023$; $F=5,36$), diversidade de Shannon-Wiener ($p=0,000$; $F=13,82$) e equitabilidade de Pielou ($p=0,001$; $F=11,63$) diferiram significativamente na interação locais x períodos. Os grupos apontados pelo teste de Tukey estão na Tabela 4. Maiores detalhes da análise são encontrados no Anexo 4.

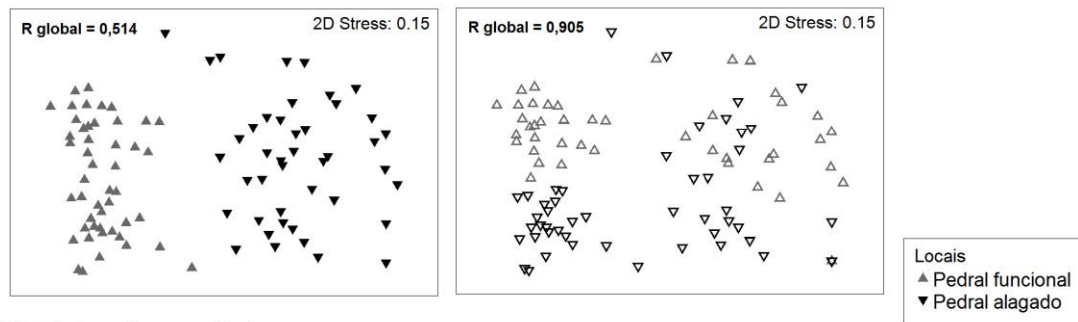
Tabela 4. Resultados do teste de Tukey ($p<0,05$) aplicado para diferenciar os locais amostrados, pedral funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013, em relação aos atributos ecológicos dos macroinvertebrados. =: sem diferenças significativas; >: com diferenças significativas com maiores e menores valores médios

Atributos ecológicos	Teste de Tukey
Riqueza de táxons	FS>FM>AS=AM
Abundância absoluta	FS>FM=AS; FS=AM; FM=AS=AM
Diversidade de Shannon-Wiener (H')	FS=FM>AM>AS
Equitabilidade de Pielou (J')	AM=FM≥FS>AS

F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013

As análises nMDS e ANOSIM demonstraram que a composição e a estrutura da comunidade de macroinvertebrados diferiram significativamente entre os locais e os períodos amostrados ($p=0,001$), sendo o valor de R global maior para os períodos (Figura 6). Cabe ressaltar que quanto mais próximo a 1 (valor máximo) for o valor do R global, menor a probabilidade de distribuição aleatória das amostras, ou seja, maior a probabilidade de as comunidades serem diferentes (Clarke, 1993).

(a) Composição da comunidade



(b) Estrutura da comunidade

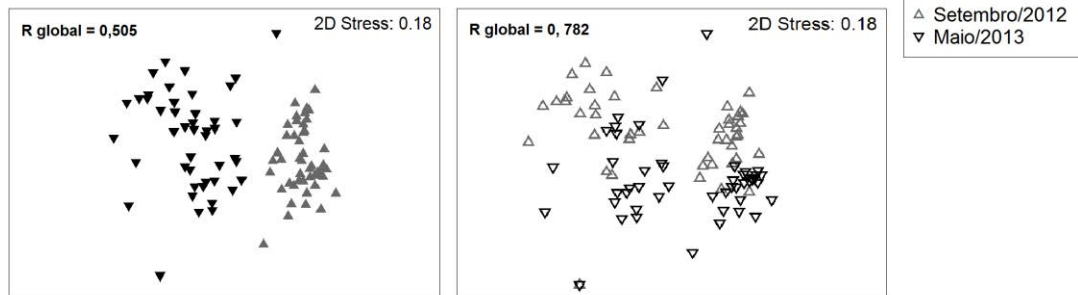


Figura 6. Diagrama de ordenação (nMDS) dos macroinvertebrados nos locais e períodos amostrados, com relação a composição (a) e estrutura da comunidade (b). Os valores de R global pelo teste ANOSIM, relacionados com a matriz de similaridade obtida na ordenação também são mostrados. F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013

A dissimilaridade média encontrada entre os locais e períodos, com base na abundância de táxons, variou entre um mínimo de 73,64% entre o pedral funcional no mês de setembro de 2012 e maio de 2013 e um máximo de 93,40% entre o pedral funcional no mês de setembro de 2012 e o pedral alagado no mês de maio de 2013 (Tabela 5). Os táxons Chironomidae n.i., Orthoclaadiinae, Chironominae, *Smicridea*, Simuliidae, *Traverhyphes*, *Camelobaetidius*, Nematoda e Diptera (pupa) foram identificados como sendo responsáveis por esta dissimilaridade entre os locais nos dois períodos amostrados (Tabela 6; Figura 7).

Tabela 5. Valores de dissimilaridade média entre os locais e períodos, segundo análise SIMPER.

Locais/Períodos	Dissimilaridade média (%)			
	FS	FM	AS	AM
FS	–	73.64	91.34	85.54
FM		–	93.40	90.17
AS			–	84.53
AM				–

Tabela 6. Resultados do SIMPER, que mostra o percentual de contribuição dos táxons para a similaridade entre as comunidades de macroinvertebrados nos pontos amostrais, pedral funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013. Apenas táxons que apresentaram contribuição >5% foram listados. F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013; Smédia: similaridade média; Ab.abs.: abundância absoluta; Cont.: contribuição

	Smédia (%)	Táxons	Ab.abs.	Cont. (%)
FS	40,18	Orthoclaadiinae	487,96	35,06
		Chironominae	415,74	15,92
		<i>Smicridea</i>	536,11	11,70
		Chironomidae n.i.	120,37	8,96
		<i>Traverhyphes</i>	136,11	5,75
FM	44,83	Simuliidae	162,04	22,42
		Orthoclaadiinae	101,85	21,98
		<i>Camelobaetidius</i>	125,93	19,77
		<i>Smicridea</i>	74,54	13,01
		Chironominae	34,72	7,19
AS	10,66	Chironominae	61,03	89,85
		Orthoclaadiinae	31,57	6,50
AM	30,15	Chironominae	555,56	76,42
		Nematoda	103,11	12,03
		Diptera (pupa)	56,82	8,05

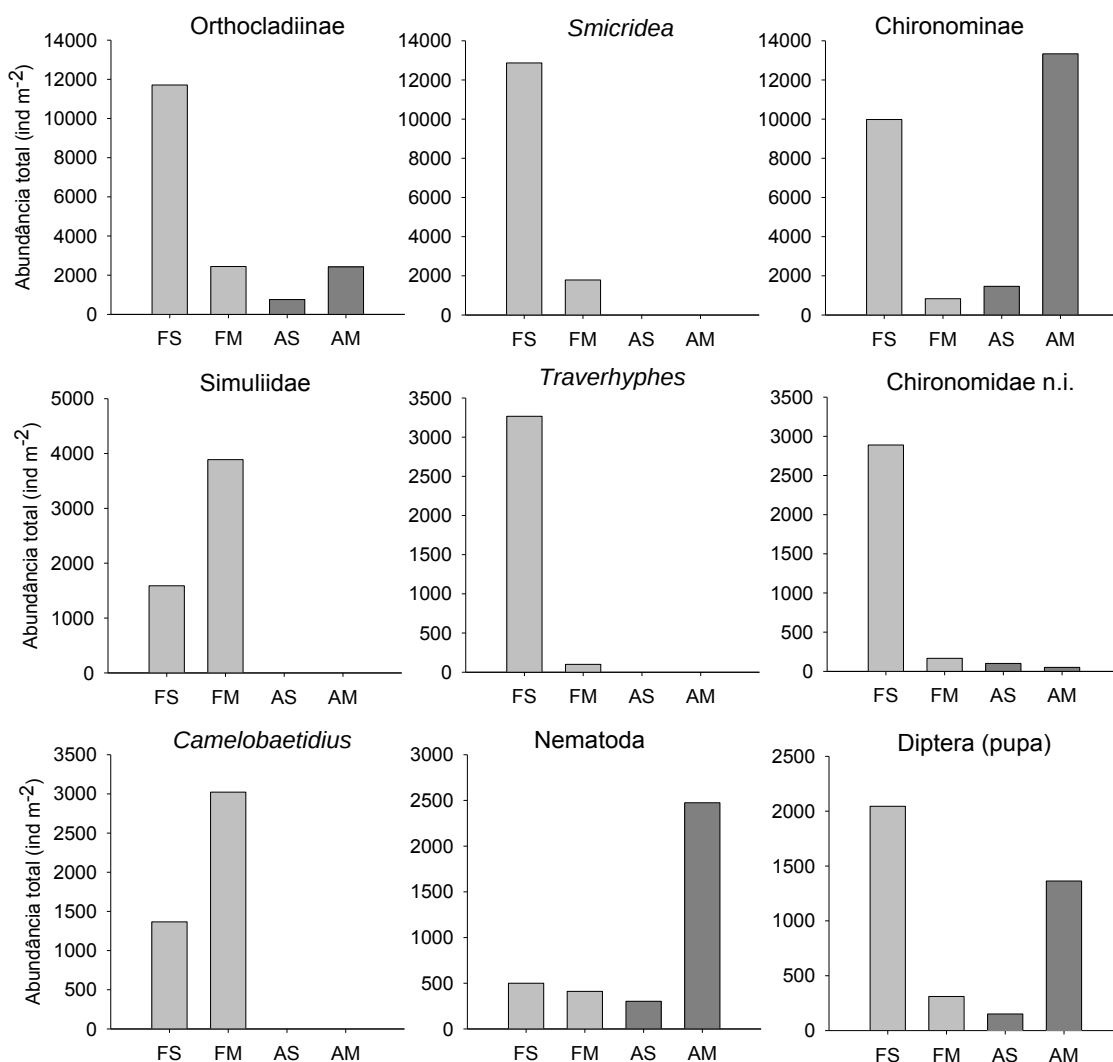


Figura 7. Representação gráfica da abundância total dos táxons que apresentaram contribuição >5% para a dissimilaridade dos locais amostrados, pedral funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013. F: pedral funcional; A: pedral alagado; S: mês de setembro/2012; M: mês de maio/2013

Discussão e Conclusão

De maneira geral, houve diferença significativa na composição e estrutura da comunidade de macroinvertebrados entre os pedrais funcional e alagado e entre os períodos estudados. A sazonalidade atuou de maneira distinta em cada um dos locais com relação à riqueza de táxons, abundância e diversidade dos macroinvertebrados. No entanto, os valores médios desses atributos foram

maiores no pedral funcional. Quanto aos valores dos parâmetros ambientais, estes foram semelhantes entre os locais em cada um dos períodos avaliados.

A semelhança encontrada nos valores dos parâmetros ambientais muito provavelmente decorre da proximidade entre os pontos e do baixo tempo de retenção da água no reservatório da PCH Palmeiras (2,06 dias). Nogueira et al. (2012), em seu trabalho no reservatório de Salto Grande, rio Paranapanema (SP, PR), notaram que o baixo tempo de residência da água faz com que toda a extensão do reservatório funcione praticamente como um rio.

Em relação às diferenças encontradas entre os períodos, provavelmente estas são devidas à influência da variação da precipitação. Uma chuva relativamente intensa, no qual foram registrados 28,6 mm de precipitação, ocorreu aproximadamente 15 dias antes da data de amostragem no mês de maio de 2013. Outros eventos de chuva ocorreram ao longo de todo o mês de abril, enquanto que em agosto e setembro as condições foram de seca prolongada (Figura 2). Assim, apesar de as coletas terem sido realizadas em dois meses classificados como pertencentes ao período seco na região (Alves et al., 2005; Minuzzi et al., 2007), os resultados encontrados no mês de maio de 2013 podem ser considerados como sendo mais próximos das condições observadas na estação chuvosa.

Um evento chuvoso, ainda que na estação seca, pode alterar as características físicas e químicas da água, bem como aumentar significativamente o volume e velocidade da correnteza, já que rios de baixa ordem apresentam respostas rápidas diante de modificações no meio. Essa dinâmica natural de flutuação do nível da água em sistemas lóticos influencia no processo de deriva de organismos (Gibbins et al., 2010; Tonkin & Death, 2013; Castro et al., 2013a), alterando localmente a composição e estrutura das comunidades.

A deriva consiste em um mecanismo primário de dispersão de estágios imaturos de invertebrados e favorece a colonização de novos ambientes a jusante de

habitats fonte (Ríos-Touma et al., 2012; Hay et al., 2008). Animais assim transportados também consistem em importante recurso alimentar para peixes predadores de coluna d'água (Flecker, 1992). Em nosso estudo, a riqueza, abundância e diversidade de macroinvertebrados diminuíram no pedral funcional no mês de maio de 2013 comparado a setembro de 2012, indicando carreamento dos organismos para locais a jusante. De acordo com Allan (1995), pedrais consistem em áreas com maior produção de macroinvertebrados e são os primeiros a serem lavados com eventos de precipitações. Já o aumento da riqueza, abundância e diversidade de macroinvertebrados no pedral alagado no período sob maior influência das chuvas sugere haver uma colonização temporária de organismos provenientes de regiões a montante.

A implantação de barragens ou desvios pode eliminar ou diminuir a frequência e magnitude dos eventos de cheia, reduzindo as condições de escoamento e alterando, conseqüentemente, os ecossistemas a jusante (Martínez et al., 2013; McIntosh et al., 2002; 2008). Além disso, a ausência de oscilações nos ambientes alagados em decorrência da construção de usinas hidrelétricas pode comprometer a manutenção da fauna deslocada pela deriva, visto a importância de distúrbios naturais na manutenção da diversidade. Segundo Connell (1978), a diversidade de espécies é máxima em um nível intermediário de distúrbios, que podem ser causados, por exemplo, pela flutuação natural da vazão dos rios (Castro et al., 2013b). Essa ausência de oscilação justificaria os baixos valores médios de riqueza, abundância e diversidade de macroinvertebrados encontrados em nosso estudo no pedral alagado.

A diminuição da heterogeneidade de substratos também pode agir como fator redutor da abundância e diversidade de macroinvertebrados, devido à perda de habitats e recursos associados, disponíveis para esses animais (Voelz & McArthur, 2000; Viana, 2002). Alterações no fluxo d'água decorrentes da construção de hidrelétricas comumente agem sobre a natureza do substrato,

resultando em acúmulo de sedimento mais fino e homogêneo na proximidade de barragens (Thornton, 1990). Isso sugere a alta taxa de táxons exclusivos no pedral funcional encontrada em nosso trabalho. No total, foram 38 táxons encontrados somente no pedral funcional, sendo alguns deles pertencentes a grupos de organismos considerados como sensíveis (bioindicadores) a fatores abióticos, como por exemplo, Trichoptera e Ephemeroptera (Barbour et al., 1999; Callisto, 2004).

Táxons pertencentes a esses grupos de organismos sensíveis, mais especificadamente *Smicridea*, *Traverhypthes* e *Camelobaetidius*, juntamente aos simulídeos e quironomídeos apresentaram elevada abundância no pedral funcional, caracterizando, portanto, tal ambiente. O pedral alagado, por sua vez, apresentou apenas nove táxons exclusivos, sendo eles considerados adaptados a substratos não consolidados ou tolerantes à condições mais adversas do meio. Chironominae, Orthoclaadiinae, Nematoda e pupa de Diptera foram os táxons que diferenciaram o local.

Embora a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e órgãos ambientais brasileiros considerem baixos os impactos ambientais advindos da construção de pequenas centrais hidrelétricas, podemos detectar alterações no transporte de sedimento, nível de flutuação da água e consequente comprometimento da dinâmica natural encontrada nos ambientes lóticos sem barramentos. A situação pode ficar ainda mais crítica quando a instalação das pequenas centrais hidrelétricas se dá em série ao longo do rio (Mantel et al., 2010). Sanz et al. (2012) relataram que alterações no fluxo natural do rio decorrentes do funcionamento de várias pequenas centrais hidrelétricas ocasionaram a redução na abundância e biomassa da população de peixes e na densidade dos macroinvertebrados.

Assim, este estudo sugere que o alagamento decorrente da implantação de pequenas centrais hidrelétricas intervém negativamente na composição e

estrutura da comunidade de macroinvertebrados associados aos ambientes de pedrais. Também destacamos a questão da construção de barragens como fator de interferência no processo de carreamento natural desses organismos e subsequente colonização em áreas a jusante.

Os ambientes de pedrais possuem uma diversidade intrínseca, que precisa ser devidamente valorizada. Espera-se que esse estudo contribua no sentido de fomentar discussões entre diferentes setores que atuam na bacia (Comitê da Bacia Hidrográfica, Empreendedores, Órgãos Ambientais, Academia, ONGs, etc.), em que se considere a implementação de programas regionais de conservação desses habitats.

Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em 17 de jul. 2014.

Allan, J. D., 1995. Stream Ecology: Structure and function of running waters. Chapman & Hall, London.

Alves, L. M., J. A. Marengo, H. Camargo Jr. & C. Castro, 2005. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. Revista Brasileira de Meteorologia 20: 385-394.

Andersen, J. M., 1976. An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. Water resources 10: 329-331.

APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th ed. Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg (eds) - American Public Health Association, Washington.

APHA, 2002. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th Edition.

Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Snyder & J. B. Stribling, 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2nd ed. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water, Washington DC. EPA 841-B-99-002.

Brandimarte, A. L., G. Y. Shimizu, M. Anaya & M. L. Kuhlmann, 2004. Amostragem de Invertebrados Bentônicos. In Bicudo, C. E. M & D. C. Bicudo (eds), Amostragem em Limnologia. RiMa, São Carlos: 213-228.

Brinkhurst, R. O. & M. R. Marchese, 1989. Guía para la identificación de Oligoquetos acuáticos continentales de Sud y Centroamérica. Clímax, Santa Fé, Argentina.

Bufon, A. G. M. & P. M. B. Landin, 2007. Análise da qualidade da água por metodologia Estatística Multivariada na Represa Velha (CEPTA/IBAMA/PIRASSUNUNGA/SP). HOLOS Environment 7: 42. ISSN: 1519-8421(CD-ROM)/ISSN:1519-8634 (ON-LINE).

Castro, D. M. P., R. M. Hughes & M. Callisto, 2013a. Effects of flow fluctuations on the daily and seasonal drift of invertebrates in a tropical river. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology 49: 169-177.

Castro, D. M. P., R. M. Hughes & M. Callisto, 2013b. Influence of peak flow changes on the macroinvertebrate drift downstream of a Brazilian hydroelectric dam. Brazilian Journal of Biology 73: 775-782.

Clarke, K. R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology 18: 117-143.

Clarke, K. R., R. M. Warwick, & B. E. Brown, 1993. An index showing breakdown of seriation related to disturbance, in a coral-reef assemblage. *Marine Ecology Progress Series*, 102: 153-160.

Clarke, K. R. & R. N. Gorley, 2006. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.

Clarke, K. R. & R. H. Green, 1988. Statistical design and analysis for a “biologist effects” study. *Marine Ecology Progress Series* 46: 213-226.

Clarke, K. R. & R. M. Warwick, 1994. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd ed. Plymouth Marine Laboratory, UK.

Clarke, K. & R. M. Warwick, 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. National Environment Research Council, Plymouth.

Cole, G. A., 1979. *Textbook of Limnology*, 2nd ed. Mosby Company, Saint-Louis.

Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Sapucaí - Mirim/Grande - UGRHI 08. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-SMG/1443/fundamentacao%20da%20cobranca%20ugrhi%2008.doc>>. Acesso em 09 de julho de 2014.

Connell, J., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199: 1304-1310.

Cortes, R. M. V., M. T. Ferreira, S. V. Oliveira & D. Oliveira, 2002. Macroinvertebrate community structure in a regulated river segment with different flow conditions. *River Research and Applications* 18: 367–382.

Domínguez, E. & H. R. Fernández, 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán.

Downes, B. J., P. S. Lake, E. S. G. Schreiber & A. Glaister, 1998. Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream. *Ecological Monographs* 68: 237–257.

Duke Energy Brasil – DEB. Disponível em: <https://www.duke-energy.com.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em 14 de jul. 2014.

Esteves, F. A., 2011. *Fundamentos de Limnologia*, 3.ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro.

Flecker, A. S., 1992. Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: evidence from Neotropical streams. *Ecology* 73: 438-448.

Field, J. R., K. R. Clarke, & R. M. Warwick, 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series* 8: 37-52.

Gibbins, C. N., D. Vericat & R. J. Batalla, 2010. Relations between invertebrate drift and flow velocity in sand-bed and riffle habitats and the limits imposed by substrate stability and benthic density. *Journal of the North American Benthological Society* 29: 945-958.

Håkanson, L. & M. Jansson, 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Berlin.

Harrison, E. T., R. H. Norris & S. N. Wilkinson, 2007. The impact of fine sediment accumulation on benthic macroinvertebrates: implications for river management. In Wilson, A. L., R. L. Dehaan, R. J. Watts, K. J. Page, K. H. Bowmer & A. Curtis. *Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference*. Australian rivers: making a difference. Charles Sturt University, Thurgoon, New South Wales, 139-144.

Hay, C. H., T. G. Franti, D. B. Marx, E. J. Peters & L. W. Hesse, 2008. Macroinvertebrate drift density in relation to abiotic factors in the Missouri River. *Hydrobiologia* 598: 175-189.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9pp.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 23 de jul. 2014.

Jesus, T., N. Formigo, P. Santos, & G. R. Tavares, 2004. Impact evaluation of the Vila Viçosa small hydroelectric power plant (Portugal) on the water quality and on the dynamics of the benthic macroinvertebrate communities of the Ardena river. *Limnetica* 23: 241-256.

Krantz, G. W. & D. E. Walter, 2009. A Manual of Acarology, 3rd ed. Texas Tech University Press, Lubbock.

Keller, E. A., 1992. Environmental Geology, 6th ed. Macmillan Publishing Company, New York.

Kelman, J., M. V. Pereira, T. A. Araripe-Neto, & P. R. H. Sales, 2002. Hidreletricidade. In Rebouças A. da C., B. Braga & J. G. Tundisi (eds), *Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*, 3.ed. Escrituras, São Paulo: 371-418.

Kennedy, R. H., 1999. Reservoir Design and operation: limnological implications and management opportunities. In Tundisi, J. G. & M. Straskraba (eds), *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. International Institute of Ecology, São Carlos, Brazilian Academy of Sciences, Rio de Janeiro and Backhuys Publishers, The Netherlands: 1-28.

Kovalenko, K. E., S. M. Thomaz & D. M. Warfe, 2012. Habitat complexity: approaches and future directions. *Hydrobiologia* 685: 1–17.

Lopretto, E. C. & G. Tell, 1995. Ecosistemas de águas continentales: Metodologías para su estudio, Tomo II. Ediciones Sur, La Plata.

Mackereth, F. J. H., J. Heron, & F. J. Talling, 1989. Water analysis: Some revised methods for limnologists, 2nd ed. Titus Wilson & Sons, Kendall. (Freshwater Biological Association Scientific Publication, 36).

Mantel, S. K., D. A. Hughes & N. W. J. Muller, 2010. Ecological impacts of small dams on South African rivers. Part 1: Drivers of change – water quantity and quality. Water SA 36: 351-360.

Mariano, R. & C. G. Froehlich, 2007. Ephemeroptera. In Froehlich, C.G. (ed) Guia online: Identificação de larvas de insetos aquáticos do Estado de São Paulo. Disponível em: http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online/

Martínez, A., A. Larrañaga, A. Basaguren, J. Pérez, C. Mendoza-Lera & J. Pozo, 2013. Stream regulation by small dams affects benthic macroinvertebrate communities: from structural changes to functional implications. Hydrobiologia 711: 31-42.

McIntosh, M. D., M. E. Benbow & A. J. Burky, 2002. Effects of stream diversion on riffle macroinvertebrate communities in a Maui, Hawaii, stream. River Research and Applications 18: 569–581.

McIntosh, M. D., J. A. Schmitz, M. E. Benbow & A. J. Burky, 2008. Structural and functional changes of tropical riffle macroinvertebrate communities associated with stream flow withdrawal. River Research and Applications 24: 1045–1055.

Merritt, R. W. & K. W. Cummins, 1996. An Introduction to the aquatic insects of North America, 3rd ed. Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.

Mihailova, P., I. Traykov, A. Tosheva & M. Nachev, 2013. Changes in biological and physicochemical parameters of river water in a small hydropower reservoir cascade. Bulgarian Journal of Agricultural Science 19: 286–289.

- Minuzzi, R. B., G. C. Sedyama, E. M. Barbosa & J. C. F. M. Júnior, 2007. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22: 338-344.
- Monteiro, T. J., 1996. Incidências ambientais dos aproveitamentos hidroelétricos. *Ingenium* 10: 68-73.
- Moreno, P. & M. Callisto, 2004. Bioindicadores de qualidade de água ao longo da bacia do Rio das Velhas. In Ferracini V. L., S. C. N. Queiroz. & M. P. Silveira. (eds), *Bioindicadores de Qualidade da Água*. EMBRAPA, Jaguariúna 1: 95-116.
- Mugnai, R., J. I. Nessimian & D. F. Baptista, 2010. *Manual de Identificação de Macroinvertebrados Aquáticos do Estado do Rio de Janeiro*. Technical Books Editora, Rio de Janeiro.
- Nogueira, M. G., G. Perbiche-Neves, D. A. O. Naliato, 2012. Limnology of two contrasting hydroelectric reservoirs (Storage and run-of-rivers) in Southeast Brazil. In Samadi-Boroujen, H. (ed), *Hydropower: Practice and Application*. InTech, Croatia. 167-184.
- Nogueira, M. G., R. Henry & A. Jorcin, 2006. *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistema em cascata*. RiMa, São Carlos.
- Pennak, R. W., 1989. *Fresh-water invertebrates of the United States. Protozoa to Mollusca*, 3th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Pimenta, A. M., E. F. Albertoni & C. Palma-Silva, 2012. Characterization of water quality in a small hydropower plant reservoir in southern Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 17: 243–251.
- Reid, M. A. & M. C. Thoms, 2008. Surface flow types, near-bed hydraulics and the distribution of stream macroinvertebrates. *Biogeosciences* 5: 1043–1055.

Resolução nº 394 de 04/12/1998 - ANEEL. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_federal/RESOLUCAO_ANEEL_394_1998.pdf>. Acesso em 14 de ago 2014.

Ríos-Touma, B., N. Prat & A. C. Encalada, 2012. Invertebrate drift and colonization processes in a tropical Andean stream. *Aquatic Biology* 14: 233–246.

Sanz, D. B., M. M. Sacristán & P. N. Ruiz, 2012. Effects in the composition and operation of the fluvial ecosystem of several hydroelectric power stations. 9th ISE 2012, Vienna.

Souza, D. F., 2014. Interferências das construções sucessivas de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) sobre a ictiofauna do rio Sapucaí-Mirim – SP, Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Zoologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 85p.

StatSoft, Inc. 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.

Strickland, J. D. & T. R. Parsons, 1960. A manual of sea water analysis. Fisheries Research Board of Canada, 125: 1-185.

Talling, J. F. & D. Driver, 1963. Some problems in the estimation of chlorophyll a in phytoplankton. In *Proceedings, Conference of primary productivity measurements in marine and freshwater*. USAEE, Hawaii: 142-146.

Tonkin, J. D., R. G. Death, 2013. Macroinvertebrate drift-benthos trends in a regulated river. *Fundamental and Applied Limnology* 162: 231-245.

Thornton, W. K., 1990. Perspectives on reservoir limnology. In Thornton, K. W., B. L. Kimmel, & E. F. Payne (eds), *Reservoir Limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons Inc., New York: 1-13.

Townsend, C. R., 1989. The patch dynamics concept of stream community ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 8: 36–50.

Tundisi, J. G., 2007. Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos. In Henry, R. (ed), *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Fundibio, Botucatu: 21-38.

Tundisi J. G. & T. Matsumura-Tundisi, 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, São Paulo.

Valero, E., 2012. Characterization of the water quality status on a stretch of river Lézé around a small hydroelectric power station. *Water* 4: 815-834.

Viana, J., 2002. Physical and chemical post-dam alterations in the Jamari River, a hydroelectric-developed river of the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia* 472: 235–247.

Voelz, N. & J. McArthur, 2000. An exploration of factors influencing lotic insect species richness. *Biodiversity and Conservation* 9: 1543–1570.

Xiaocheng, F., T. Tao, J. Wanxiang, L. Fengqing, W. Naicheng, Z. Shuchan, C. Qinghua, 2008. Impacts of small hydropower plants on macroinvertebrate communities. *Acta Ecologica Sinica* 28: 45–52.

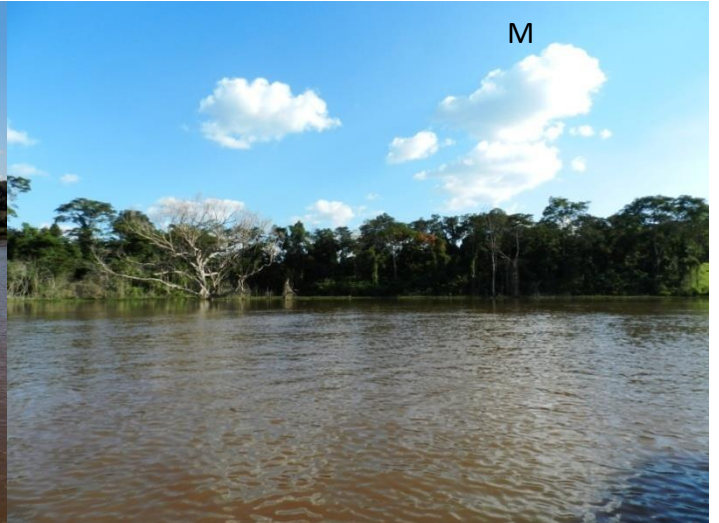
Zar, J. H., 1999. *Bioestatistical Analysis*, 4th ed. Prentice Hall, New Jersey.

Anexos

ANEXO 1



Imagens do pedral funcional nos meses de setembro de 2012 (S) e maio de 2013 (M).



Imagens do pedral alagado nos meses de setembro de 2012 (S) e maio de 2013 (M).

ANEXO 2

Resultados da ANOVA (F, *p*) para comparação espacial (locais) e temporal (períodos) dos dados das variáveis ambientais. Em negrito, diferenças com nível de significância de 95%

Variáveis ambientais	Locais		Períodos		Locais x Períodos	
	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>	F	<i>p</i>
pH	0,20	0,667	43,56	0,000	11,09	0,010
Condutividade	77	0,000	15480	0,000	162	0,000
Turbidez	2,740	0,136	248,031	0,000	0,329	0,582
Oxigênio dissolvido	8,62	0,019	11,43	0,010	18,91	0,002
% Saturação do O ₂	6,3	0,367	3,5	0,097	21,9	0,001
Temperatura da água	10,8	0,011	86,2	0,000	1,1	0,311
Potencial de óxido-redução	0,0	0,862	16,5	0,004	7,3	0,027
Sólidos totais dissolvidos	274,0	0,000	25274,4	0,000	344,2	0,000
Clorofila a	21,036	0,002	394,573	0,000	10,366	0,012
Material suspenso total	0,722	0,420	74,041	0,000	1,659	0,234
Material suspenso orgânico	0,2608	0,623	40,9516	0,000	2,4578	0,155
Material suspenso Inorgânico	0,8946	0,372	58,3530	0,000	0,667	0,438
Sólidos totais	0,15	0,705	4,53	0,065	3,23	0,110
Nitrogênio total - água	6,61	0,033	202,20	0,000	1,46	0,261
Fósforo total - água	16,2	0,004	148,0	0,000	6,0	0,031

ANEXO 3

Lista de ocorrência dos táxons coletados nos pedrais funcional e alagado, nos meses de setembro de 2012 e maio de 2013, segundo sistema de classificação zoológica de Ruppert, Fox & Barnes (2005)

Táxons	Pedral funcional		Pedral alagado	
	Set/12	Mai/13	Set/12	Mai/13
Reino Animalia				
Filo Cnidaria				
Classe Hydrozoa				
Ordem Hydroida				
Família Hydridae				
<i>Hydra</i>	+	+	-	-
Filo Platyhelminthes				
Classe Turbellaria	+	+	-	-
Filo Nemertea	+	-	+	-
Filo Nemata	+	+	+	+
Filo Annelida				
Classe Clitellata				
Subclasse Oligochaeta				
Ordem Haplotaxida				
Família Naididae				
Naididae n.i.	+	-	+	+
<i>Chaetogaster diaphanus</i>	+	-	-	+
<i>Pristina</i>	-	-	+	-
<i>Pristina sp.1</i>	+	+	+	+
<i>Pristina sp.2</i>	-	-	+	-
<i>Pristina sp.3</i>	-	-	-	+
<i>Pristina biserrata</i>	+	-	-	+
<i>Pristina leidy</i>	+	-	+	+
<i>Pristina aequiseta</i>	+	-	-	-
<i>Pristina macrochaeta</i>	+	-	-	+
<i>Pristina proboscidea</i>	+	+	+	+
<i>Pristina (Pristinella)</i>	+	-	-	+
<i>Pristina (Pristinella) osborni</i>	+	+	+	+
<i>Pristina (Pristinella) menoni</i>	+	+	-	-
<i>Pristina (Pristinella) longisoma</i>	-	-	-	+
<i>Pristina (Pristinella) longidentata</i>	-	+	+	-
<i>Dero (Aulophorus) vagus</i>	-	-	-	+
<i>Slavina</i>	+	-	-	+
<i>Slavina sp.</i>	+	-	-	-
<i>Slavina appendiculata</i>	+	-	-	+

Anexo 3 - Continuação

<i>Slavina evelinae</i>	+	-	-	-
<i>Slavina isochaeta</i>	+	-	-	-
<i>Nais</i>	+	-	-	+
<i>Nais communis</i>	+	+	+	+
<i>Nais variabilis</i>	+	+	+	+
<i>Nais pseudobtusa</i>	+	-	-	-
Família Tubificidae				
Tubificidae n.i.	+	-	+	+
<i>Aulodrilus</i>	+	-	+	-
<i>Aulodrilus pigueti</i>	-	-	+	+
<i>Aulodrilus limnobius</i>	+	+	+	-
Família Enchytraeidae	+	+	+	-
Família Aelosomatidae				
<i>Aelosoma</i>	+	-	-	-
Ordem Hirudinida	+	+	+	+
Filo Arthropoda				
Subfilo Crustacea				
Classe Branchiopoda				
Ordem Diplostraca	-	+	-	+
Classe Maxillopoda				
Subclasse Ostracoda	+	-	+	+
Classe Arachnida				
Subclasse Acari				
Ordem Sarcoptiformes				
Subordem Oribatida	+	+	+	+
Ordem Trombidiformes				
Família Hydrachnidae	+	+	-	+
Classe Entognatha				
Ordem Collembola				
Família Isotomidae	+	+	-	-
Família Entomobryidae	-	+	-	-
Família Sminthuridae	-	+	-	-
Classe Insecta				
Ordem Odonata				
Odonata n.i.	-	+	-	-
Família Aeshnidae	+	-	-	-
Família Gomphidae	+	+	-	+
Família Libellulidae	+	+	+	+
Ordem Ephemeroptera				
Ephemeroptera n.i.	+	-	-	-
Família Baetidae				

Anexo 3 - Continuação

Baetidae n.i.	+	+	-	-
<i>Camelobaetidius</i>	+	+	-	-
<i>Americabaetis</i>	+	+	-	-
<i>Baetodes</i>	+	+	-	-
Família Caenidae				
<i>Caenis</i>	-	-	-	+
Família Leptohyphidae				
<i>Traverhyphes</i>	+	+	-	-
Família Leptophebiidae				
Leptophebiidae n.i.	-	+	-	+
<i>Hagenulopsis</i>	+	+	-	-
Família Oligoneuriidae				
<i>Lachlania</i>	-	+	-	-
Ordem Megaloptera				
Família Corydalidae				
<i>Corydalus</i>	+	-	-	-
Ordem Trichoptera				
Trichoptera n.i.	+	+	-	-
Família Leptoceridae				
Leptoceridae n.i.	-	-	-	+
<i>Nectopsyche</i>	-	+	+	+
Família Glossomatidae				
Glossomatidae n.i.	-	+	-	-
<i>Culoptila</i>	+	-	-	-
<i>Mexitrichia</i>	+	+	-	-
Família Helicopsychidae				
<i>Helicopsyche</i>	+	-	-	+
Família Hydroptilidae				
Hydroptilidae n.i.	+	+	-	+
<i>Oxyethira</i>	+	+	+	-
<i>Neotrichia</i>	+	+	-	+
<i>Ceratotrichia</i>	+	-	-	-
<i>Zumatrichia y Abtrichia</i>	+	+	-	-
Família Hydropsychidae				
Hydropsychidae n.i.	+	-	-	-
<i>Smicridea</i>	+	+	-	-
<i>Synoestropsis</i>	+	-	-	-
Família Odontoceridae				
<i>Marilia</i>	+	-	-	-
Família Philopotamidae				
<i>Chimarra</i>	+	-	-	-
Família Polycentropodidae				
<i>Cyrnellus</i>	-	-	+	+
Trichoptera (pupa)	+	+	-	-

Anexo 3 - Continuação

Ordem Coleoptera				
Família Psephenidae	-	+	-	-
Família Staphylinidae	-	-	+	-
Família Hydroscaphidae	+	+	+	-
Família Elmidae				
<i>Heterelmis</i>	+	-	-	-
<i>Macrelmis</i>	+	+	-	-
<i>Phanocerus</i>	+	-	-	-
Larva D	+	-	-	-
Ordem Diptera				
Família Simuliidae	+	+	-	-
Simuliidae (pupa)	+	+	-	-
Família Ceratopogonidae	+	+	-	+
Família Chironomidae				
Chironomidae n.i.	+	+	+	+
Subfamília Chironominae	+	+	+	+
Subfamília Orthoclaadiinae	+	+	+	+
Subfamília Tanypodinae	+	+	+	+
Família Empididae	+	+	+	-
Diptera (pupa)	+	+	+	+
Ordem Lepidoptera				
Família Crambidae				
<i>Petrophila</i>	+	+	-	-
Lepidoptera (pupa)	-	+	-	-
Ordem Heteroptera				
Família Mesoveliidae	+	-	-	-
Família Veliidae				
Veliidae n.i.	+	-	-	-
<i>Rhagovelia</i>	+	-	-	-
Família Naucoridae				
<i>Procryphocricos</i>	+	-	-	-
Filo Mollusca				
Classe Gastropoda				
Ordem Basommatophora				
Família Ancyliidae	+	+	+	-
Família Planorbidae	-	-	-	+
Classe Bivalvia				
Ordem Veneroida				
Família Corbiculidae				
<i>Corbicula fluminea</i>	+	+	+	+

+: presença; -: ausência; n.i.: não identificado

ANEXO 4

Resultados da ANOVA (F , p) para comparação espacial (locais) e temporal (períodos) dos atributos ecológicos dos macroinvertebrados. Em negrito, diferenças com nível de significância de 95%

Atributos ecológicos	Locais		Períodos		Locais x Períodos	
	F	p	F	p	F	p
Riqueza	138,796	0,000	2,180	0,143	17,119	0,000
Abundância absoluta	2,083	0,152	2,420	0,123	5,363	0,023
Diversidade de Shannon-Wiener	84,906	0,000	6,455	0,013	13,822	0,000
Equitabilidade de Pielou	1,812	0,182	26,032	0,000	11,634	0,001