



Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida  
Silvestre

*Dissertação de Mestrado*

**Influência de alterações de vazão sobre o “drift” de  
macroinvertebrados a jusante de uma barragem hidrelétrica**



**Diego Marcel Parreira de Castro**

Orientador:

Prof. Dr. Marcos Callisto

(Departamento de Biologia Geral, ICB, UFMG)

Belo Horizonte, fevereiro de 2012.

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida  
Silvestre

**Influência de alterações de vazão sobre o “drift” de macroinvertebrados a  
jusante de uma barragem hidrelétrica**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**Diego Marcel Parreira de Castro**

Orientador:

Prof. Dr. Marcos Callisto

(Departamento de Biologia Geral, ICB, UFMG)

Belo Horizonte, fevereiro de 2012.

Financiamento:



Bolsa:



Apoio:



Aos meus pais, Tarlei e Celina,  
minhas tias, Sirlene e Rose, e à  
Camila, por todo apoio e incentivo.

## O Rio e o Oceano

*“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo.  
Olha para trás, para toda a jornada, os cumes, as montanhas,  
o longo caminho sinuoso através das florestas, através dos  
povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar  
nele nada mais é do que desaparecer para sempre.  
Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar.  
Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência.  
Você pode apenas ir em frente.  
O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.  
E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece.  
Porque apenas então o rio saberá que não se trata de  
desaparecer no oceano, mas tornar-se oceano.  
Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento.  
Assim somos nós.  
Só podemos ir em frente e arriscar.  
Coragem! Avance firme e torne-se Oceano!”*

**Osho**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Marcos Callisto pela oportunidade e confiança depositados em mim. Muito obrigado pelos ensinamentos, disponibilidade e por sempre me apoiar no crescimento profissional, abrindo portas e dando todo apoio possível.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

Aos professores Dr. Luiz Hepp (URI-RS), Dr. Cleber Figueredo (UFMG) e Dr. José Fernandes Neto (UFMG) que gentilmente aceitaram o convite para compor a banca desta dissertação.

Ao professor Dr. Paulo Pompeu (UFLA) pelas valiosas sugestões e pela disponibilidade em ajudar no que foi necessário.

Ao Prof. Dr. Rui Cortes e à Dra. Samantha Hughes (UTAD-Portugal) que gentilmente me receberam em seus laboratórios e contribuíram com várias ideias para o trabalho.

Aos professores Dr. Robert Hughes (OSU-USA) e ao Dr. Phillip Kaufmann (EPA-USA) pela amizade, receptividade e ajuda com a tradução.

À Profa. Dra. Andrea Encalada (USFQ-Ecuador) pelas preciosas dicas para a elaboração da dissertação.

À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pelo financiamento do projeto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos funcionários da secretaria do curso, Fred e Chris, pela gentileza e apoio com os problemas burocráticos.

Ao Carlos Bernardo (Cacá) pela amizade, prestatividade e pelas infinitas consultorias a respeito de tudo.

Ao Taynan Tupinambás (“Minino Guigó”) pelo companheirismo, amizade e parceria nos projetos, trabalhos e viagens.

A todos os colegas do Laboratório de Ecologia de Bentos pela amizade e profissionalismo. Em especial à Josy e Rapha, por toda ajuda com a estatística. Ao Wander, pela paciência e ajuda nas identificações. Ao Diego Macedo pela elaboração do mapa. À Luciana, Stella, Isabela e Déborah por toda ajuda nas coletas e processamento das amostras. À Ana Paula e Juliana por todo apoio na logística e nas análises físico-químicas. E por fim ao Thiago (Fião) pela grande ajuda nos trabalhos de campo.

Ao pessoal da UFLA, em especial Alexandre (Lelê), Yumi, Rafa, Igor, Cíntia e Nara, que tornaram os dias em Itutinga mais engraçados.

A todos os amigos e colegas da Pós, em especial os participantes do Curso de Campo de 2010. Com certeza vocês tornaram o mestrado muito mais feliz e divertido.

Às minhas tias, Sirlene e Rose, por me abrigar em Belo Horizonte e tornar a vida aqui muito mais fácil.

À Camila, pelo companheirismo, amor e compreensão dos meus momentos de ausência. Com você ao meu lado foi tudo mais fácil!

Aos meus pais, Tarlei e Celina, serei eternamente grato pela confiança, apoio e por acreditarem nos meus sonhos. Tudo o que busco é me espelhando em vocês.

E por fim agradeço a Deus, pela força, saúde, sabedoria e por colocar pessoas tão especiais no meu caminho.

A todos que rezaram e torceram por mim, meu sincero obrigado.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	3
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	7
<i>Área de estudo</i> .....	7
<i>Experimentos hidráulicos</i> .....	8
<i>Variáveis físicas e químicas na coluna d'água</i> .....	10
<i>Amostragens de "drift"</i> .....	10
<i>Análise de dados</i> .....	11
<b>RESULTADOS</b> .....	13
<i>Variáveis físicas e químicas na coluna d'água</i> .....	13
<i>Composição total no "drift"</i> .....	14
<i>Influência de alterações de vazão no "drift" de invertebrados</i> .....	15
<i>Mudanças sazonais no "drift" de invertebrados</i> .....	18
<i>Variação diária no "drift"</i> .....	21
<b>DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>CONCLUSÕES</b> .....	31
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34



## RESUMO

Os sucessivos pulsos diários de vazão decorrentes da operação de usinas hidrelétricas podem perturbar os ecossistemas aquáticos e alterar a composição e estrutura de macroinvertebrados a jusante de barramentos. O “drift” de macroinvertebrados tem grande importância para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, sendo um mecanismo primário de redistribuição e colonização de macroinvertebrados. Os objetivos deste estudo foram avaliar as variações sazonais, horárias e flutuações de vazão sobre o “drift” de macroinvertebrados a jusante de uma barragem hidrelétrica. Foram coletados macroinvertebrados em momentos de vazão fixa ( $380 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na estação de chuvas e  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na estação seca) e com flutuações de vazão ( $380 - 430 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na estação de chuvas e  $100 - 180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na estação seca) no ano de 2010. Foram coletados 31.924 organismos distribuídos em 46 táxons nas duas campanhas amostrais. A composição taxonômica de invertebrados no “drift” foi diferente durante os períodos com flutuações de vazão, tanto na estação de chuvas quanto na seca. A densidade de macroinvertebrados diferiu significativamente entre os períodos de vazão fixa e flutuante na estação de chuvas. Em conclusão, as comunidades de macroinvertebrados a jusante de barragens são influenciadas pelas flutuações diárias na vazão, principalmente durante a estação de chuvas. Portanto, os macroinvertebrados no “drift” devem ser considerados nos cálculos de vazões ambientais, pois eles claramente refletem as mudanças ecológicas nas comunidades biológicas a jusante de barragens hidrelétricas.

**Palavras-chave:** jusante, vazão ecológica, insetos aquáticos, picos de vazão.

## **ABSTRACT**

Successive daily flood pulses from hydropower plants can disrupt aquatic ecosystems and alter the composition and structure of macroinvertebrates downstream. We evaluated the influence of flow changes on the drift of macroinvertebrates downstream of a hydroelectric plant as a basis for developing tools for the calculation of environmental flows that might lesser disturb aquatic biota. The aim of this study was to assess the influence of flow fluctuations on the drift of macroinvertebrates in seasonal and daily patterns. We collected macroinvertebrates at moments of fixed flow rate ( $380 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  in the rainy season and  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  in the dry season) and when flows fluctuated ( $380$  to  $430 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  in the rainy season, and  $100$  to  $180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  in the dry season) in 2010. We collected 31,924 organisms belonging to 46 taxa in the two sampling events. The taxonomic composition of invertebrates in the drift was differed during changes of flow, in both the rainy and the dry season. Macroinvertebrate densities differed between periods of fixed and fluctuating flows in the rainy season. We conclude that macroinvertebrate communities downstream of dams are influenced by daily flow fluctuations, especially during the rainy season. And thus, drift macroinvertebrates must be considered in environmental flow calculations because they clearly reflect the ecological changes in downstream biological communities.

**Keywords:** downstream, ecological flow, aquatic insects, flood pulse.

## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos são essenciais para o desenvolvimento da sociedade humana, oferecendo bens e serviços de fundamental importância (Arthington *et al.*, 2010), como suprimento de água, controle de inundações, transporte e geração de energia (Hay *et al.*, 2008). Porém, os rios têm sofrido inúmeras influências de atividades antrópicas, principalmente pelo lançamento de lixo e esgotos, introdução de espécies exóticas e construção de reservatórios (Agostinho *et al.*, 2005). A maioria dos grandes rios em todo o mundo encontra-se alterada por represamentos e regulação de suas vazões (Nilsson *et al.*, 2005). O número de represamentos de rios para a geração de energia elétrica tem aumentado significativamente em quase todas as bacias hidrográficas brasileiras. Esses empreendimentos tiveram, desde a década de 1970, ampla expansão, fortalecendo o setor hidrelétrico devido às condições hídricas favoráveis (Agostinho *et al.*, 2007).

A implantação de reservatórios ocasiona uma série de alterações nos ecossistemas aquáticos, incluindo mudanças no regime hidrológico natural (Poff *et al.*, 1997), temperatura da água (Ward & Stanford, 1983) e transporte de sedimentos (Petts, 1984). Essas modificações nos habitats físicos podem causar mudanças significativas em parâmetros abióticos importantes para os organismos aquáticos e, conseqüentemente, nas comunidades de macroinvertebrados bentônicos (Hay *et al.*, 2008).

A geomorfologia do canal de um rio e a diversidade de habitats são fortemente determinadas pela correnteza (Richter *et al.*, 2003). Usinas hidrelétricas controlam a quantidade de água vertida e mudanças na vazão

ocorrem diariamente. Essas variações podem perturbar os ecossistemas aquáticos por meio de rápidas modificações na profundidade, velocidade e na qualidade da água (Lauters *et al.*, 1996). Além disso, a velocidade da correnteza pode modificar a composição do substrato, resultando em um substrato mais homogêneo a jusante de barragens. A redução da heterogeneidade de substratos reduz a diversidade de habitats disponíveis para os macroinvertebrados, acarretando a diminuição de sua abundância e diversidade (Patterson & Smokorowski, 2011).

Insetos e outros invertebrados aquáticos são transportados pela correnteza rio abaixo em um fenômeno conhecido como “drift” (Brittain & Eikeland, 1988). A entrada de invertebrados na coluna d’água pode ser ativa ou passiva, podendo ser o resultado de vários fatores, como: (1) alterações na vazão e velocidade da água (Poff & Ward, 1991); (2) presença de predadores bentônicos (Huhta *et al.*, 2000); (3) modificações nas características físicas e químicas da água (Brittain & Eikeland, 1988); e (4) redistribuição das populações de invertebrados em função de pressões competitivas (Brittain & Eikeland, 1988). O transporte de invertebrados rio abaixo não é constante, podendo variar com a estação do ano, de dia a dia, e em diferentes horários do dia (Brittain & Eikeland, 1988). Diferenças nas densidades de organismos a deriva podem variar também para cada espécie e de sua propensão ao “drift” em diferentes estágios do ciclo de vida ou quando os insetos estão emergindo (Hansen & Closs, 2007). O “drift” de macroinvertebrados tem grande importância para o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, pois é um mecanismo primário para a redistribuição e colonização de macroinvertebrados

aquáticos (Hay *et al.*, 2008) além de ser um recurso importante para predadores de coluna d’água, como os peixes (Flecker, 1992).

A flutuação natural da vazão de um rio aumenta a heterogeneidade de habitats e mantém a riqueza e complexidade das comunidades biológicas. Segundo Connell (1978), a diversidade de espécies é máxima em um nível intermediário de distúrbios, que podem ser causados pela flutuação natural da vazão dos rios. Porém, o fluxo criado pela operação da usina para atender às exigências energéticas não possui o mesmo efeito pela intensidade e imprevisibilidade dos fenômenos (Poff *et al.*, 1997), levando a uma desestabilização das comunidades biológicas e perda de biodiversidade.

A influência de alterações de vazão a jusante de reservatórios é um dos maiores desafios para a conservação e manejo de ecossistemas aquáticos continentais (Acreman & Ferguson, 2010). O controle da vazão pelas usinas hidrelétricas é um dos fatores de maior impacto para as comunidades biológicas a jusante, pois a magnitude, frequência, duração e previsibilidade do fluxo de água, que são as características mais importantes na regulação dos processos ecológicos nessa região do rio, são alterados drasticamente (Poff *et al.*, 1997; Bunn & Arthington, 2002). O trecho a jusante de um barramento é submetido a alterações diárias e sazonais de vazão conforme a operação da usina e logística anual de armazenamento de água (Agostinho *et al.*, 2007). Assim, estas alterações influenciam a biodiversidade aquática e a integridade biótica a jusante de barramentos hidrelétricos (Poff & Zimmerman, 2010).

Modificações diárias da vazão ocorrem para atender à maior demanda por energia elétrica entre 18 e 22 horas. Assim, várias barragens hidrelétricas retêm parte significativa da vazão afluente do reservatório ao longo do dia,

liberando a água para maior geração de energia no período de maior demanda, denominado horário de pico de carga do sistema elétrico. Desta forma, os invertebrados a jusante são afetados pelas constantes alterações hidráulicas em decorrência da operação da usina e podem apresentar comportamentos diferentes no “drift” (Troelstrup & Hergenrader, 1990). O “drift” de invertebrados pode ser estimulado tanto pela redução (Cuchman, 1985; Minshall & Winger, 1968) quanto pelo aumento da vazão (Scullion & Sinton, 1983; Lauters *et al.*, 1996). Além disso, as constantes alterações no fluxo decorrentes da operação da usina podem favorecer os organismos mais adaptados às variações na vazão, deslocando e arrastando aqueles menos adaptados (Armitage, 1978).

A crescente necessidade em conciliar desenvolvimento econômico com conservação ambiental traz à tona o conceito de vazão ecológica ou ambiental, que refere-se à quantidade, qualidade e regimes de vazões necessários para sustentar os ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade e também para manter os serviços ecológicos dos quais depende a sociedade humana (Poff *et al.*, 2010).

Ao contrário do observado em regiões temperadas, o “drift” de invertebrados em rios tropicais é um processo ainda pouco estudado. Alguns trabalhos abordam o comportamento, dinâmica e composição (Flecker, 1992; Ramirez & Pringle, 1998; Callisto & Goulart, 2005) de invertebrados no “drift” em riachos de regiões tropicais, porém nenhum aborda as influências de flutuações de vazão a jusante de barramentos em regiões tropicais.

Mesmo conhecendo a importância dos macroinvertebrados bentônicos para o funcionamento e dinâmica dos ecossistemas aquáticos, os modelos utilizados para a determinação de vazões ambientais não levam em

consideração algumas medidas de comunidades aquáticas, como densidade, riqueza taxonômica e grupos tróficos funcionais, que podem responder aos impactos causados por alterações de vazão a jusante de barramentos hidrelétricos (Bunn & Arthington, 2002).

O uso de experimentos hidráulicos com manipulação de vazões vertidas por uma usina hidrelétrica, e conseqüente avaliação dos impactos sobre as comunidades biológicas, pode ser uma importante ferramenta para subsidiar a determinação de vazões ambientais. Assim, os objetivos deste trabalho foram verificar as variações sazonais e horárias no “drift” e avaliar a influência de flutuações de vazão sobre o “drift” de macroinvertebrados a jusante de uma barragem hidrelétrica.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Área de Estudo*

Este estudo foi desenvolvido em um trecho localizado 5 km a jusante da Usina Hidrelétrica (UHE) de Itutinga, no trecho alto da bacia do Rio Grande, estado de Minas Gerais (535368 W, 7647367 N; 850 m de altitude). O Rio Grande nasce na Serra da Mantiqueira, na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo, e percorre 1.300 km até o Rio Paranaíba, integrando o complexo da bacia do Rio Paraná (Figura 1).

Por estar localizado nas proximidades do centro de maior desenvolvimento econômico do país, nas regiões Sul e Sudeste, e possuir

grande potencial energético, grande parte de seu curso é utilizada para a geração de energia elétrica. Na década de 1950, além de Furnas e Peixoto, foram instalados os reservatórios da UHE de Camargos, com capacidade de 46 MW, e da UHE de Itutinga, com capacidade de 52 MW (CEMIG, 2010).

A região do rio onde foram realizadas as amostragens possui uma largura média de 150 m e o cerrado como fitofisionomia predominante nas áreas de entorno. As médias anuais de temperatura variam entre 19 e 21 °C e o clima é classificado como semi-úmido, apresentando de 4 a 5 meses de seca e chuvas de 1200 a 1500 mm anuais (Pompeu *et al.*, 2009).

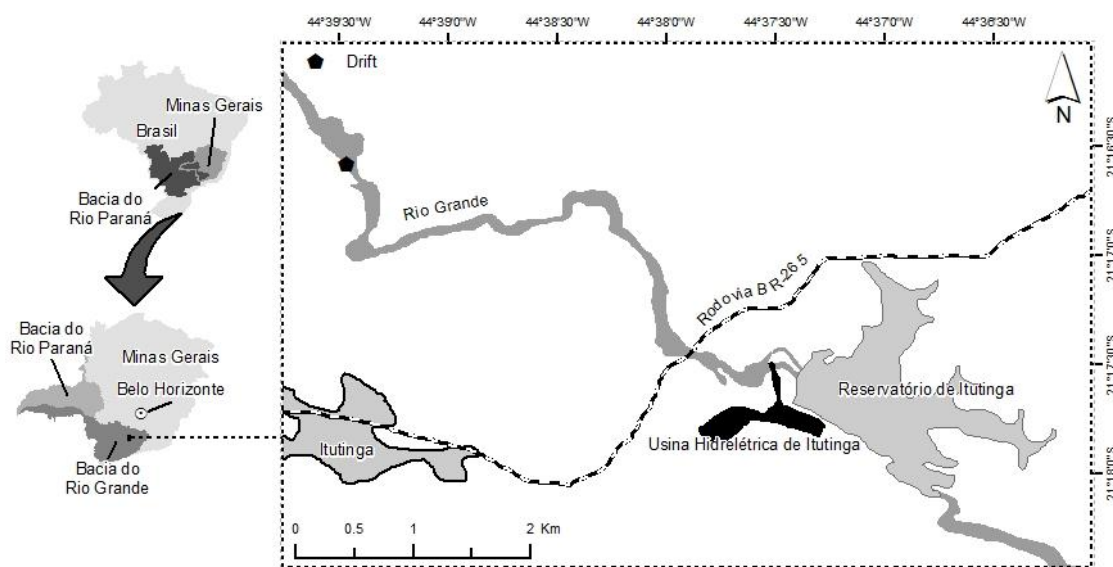


Figura 1: Mapa da área de estudo e local de coleta das amostras de “drift” no Rio Grande, em 2010, a jusante da UHE de Itutinga, Minas Gerais, Brasil.

### Experimentos hidráulicos

Para o desenvolvimento dos experimentos hidráulicos com a manipulação das vazões vertidas pela usina foram considerados quatro



diferentes períodos de amostragem nas estações de chuvas e seca de 2010: chuvas com vazão fixa ( $380 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ); chuvas com vazão flutuante ( $380 - 430 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ); seca com vazão fixa ( $100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ); e seca com vazão flutuante ( $100 - 180 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ).

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) realizou manipulações das vazões vertidas na UHE de Itutinga para a realização de campanhas de coleta na estação de chuvas (janeiro) e na estação de seca (julho). Em cada campanha de amostragens a vazão a jusante do reservatório foi mantida constante por 34 dias consecutivos, em valores referentes a 100% da média mensal histórica para a região ( $380 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  para a estação de chuvas e de  $100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  para a estação de seca). Então foram realizadas amostragens contínuas de invertebrados no “drift” nos últimos quatro dias desses períodos com vazão constante.

Após os quatro dias de coleta sob vazão constante, nas estações de chuvas e seca, foram iniciadas flutuações diárias na vazão, nos horários de maior demanda energética, das 18 às 22 horas, simulando a operação de pico da usina. Por questões operacionais na UHE de Itutinga, o aumento no fluxo foi realizado de forma gradual, e não abruptamente. O início do aumento do fluxo deu-se às 17 horas, sendo que o volume máximo vertido pela usina foi atingido por volta das 18:30hs. A partir das 21 hs foi iniciado o processo de redução do volume vertido, retornando ao valor de descarga inicial por volta das 23 hs.

Na estação de chuvas os valores de vazão vertidos pela UHE de Itutinga variaram de  $380 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  a  $430 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e, na estação de seca, de  $100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  a  $180 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Sob o efeito desses picos de vazão diários foram realizados, então, mais quatro dias de amostragens de invertebrados no “drift”.

### *Variáveis físicas e químicas na coluna d'água*

Durante os quatro períodos de amostragens, variáveis físicas e químicas na água foram mensuradas diariamente no local onde as redes de coleta de “drift” foram instaladas. Temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH e turbidez (UNT) foram mensurados em campo utilizando-se uma sonda multiparâmetros YSI 6600. As concentrações de Fósforo Total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), Nitrogênio Total ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e oxigênio dissolvido ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) foram determinadas em laboratório de acordo com “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1992).

### *Amostragens de “drift”*

As amostras de “drift” foram coletadas utilizando três redes (40 x 40 cm de abertura e malha de 250  $\mu\text{m}$ ), parcialmente submersas (60%) na coluna d'água a cerca de 50 cm do sedimento, dispostas em locais com fluxo de água constante. As redes foram fixadas no substrato com o uso de vergalhões de aço e permaneceram no local 24h por dia, com amostragens individuais a cada 8 horas (23-7h, 7-15h, 15-23h). Durante os experimentos foram realizadas amostragens paralelas para estimar as taxas de perda de invertebrados no “drift” entre o sedimento e as redes fixadas na coluna d'água. Para isso foram utilizadas redes de “drift” de mesmo tamanho das anteriores dispostas entre o sedimento e a base da rede superior.

O material retido nas redes foi coletado, lavado em campo sobre peneira com malha de 250  $\mu\text{m}$ , acondicionado em frascos e fixado em álcool 70%. No laboratório as amostras foram triadas sobre bandejas transiluminadas e os organismos identificados até o nível taxonômico de família, segundo bibliografia adequada (Pérez, 1988; Merritt & Cummins, 1996; Mugnai *et al.*, 2010). Não foram considerados os invertebrados terrestres eventualmente presentes nas amostras.

A velocidade média na coluna d’água ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) foi mensurada com um fluxômetro “Global Flow Probe” no início e ao final da coleta do material retido em cada rede de “drift”, em intervalos de 8 hs. A vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ) foi calculada multiplicando a área da rede submersa e a velocidade média da água. Multiplicando-se esse valor pelo tempo de amostragem foi possível calcular o volume total de água filtrada em cada rede ( $\text{m}^3$ ) e então a densidade de invertebrados por amostra ( $\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (Callisto & Goulart, 2005). As densidades de organismos no “drift” foram registradas como o número de invertebrados por 100  $\text{m}^3$  de água filtrada (Allan & Russek, 1985).

### *Análise de dados*

Diferenças nas variáveis físicas e químicas mensuradas na coluna d’água entre os períodos de vazão fixa e com flutuação e entre as estações de chuvas e seca foram avaliadas por meio de testes *t*, considerando os parâmetros mensurados como variáveis dependentes.

A riqueza taxonômica foi estimada como o número total de diferentes táxons encontrados em cada amostra, além de serem calculadas também a

riqueza rarefeita através de curvas de rarefação (Gotelli & Colwell, 2001) para eliminar o efeito de diferentes densidades nas amostras. Análises de nMDS (*Non Metric Multidimensional Scaling*) e ANOSIM (Análise de Similaridade) foram realizadas para testar possíveis diferenças na composição taxonômica de invertebrados aquáticos no “drift” entre (i) os períodos de vazão fixa e com vazão flutuante e (ii) entre as estações de chuvas e seca. Foram utilizadas uma matriz de dissimilaridade (Bray-Curtis) com dados de abundância transformados (raiz quadrada) e uma matriz de similaridade (Jaccard) com dados de presença e ausência de táxons. Dados de abundância favorecem espécies comuns enquanto que dados de presença e ausência enfatizam espécies raras (Zar, 1996). As análises nMDS e ANOSIM foram realizadas com o software PRIMER 6.0 + PERMANOVA (Clarke & Warwick, 2001).

Para avaliar a propensão dos invertebrados ao “drift”, foi aplicada a seguinte fórmula: densidade no “drift”/densidade no sedimento (McIntosh *et al.*, 2002) usando a média dos valores de densidade de invertebrados no “drift” e no sedimento em cada dia. As densidades de invertebrados no sedimento foram obtidas de um estudo simultâneo conduzido no mesmo local e no mesmo período deste trabalho. Para o cálculo foram excluídas as larvas de Chaoboridae, pois estes são organismos exclusivos de ambientes lênticos e que provavelmente foram carregados do reservatório de Itutinga a montante.

Diferenças nos valores de riqueza e densidade entre (i) os períodos de vazão fixa e com flutuação foram comparadas por meio de ANOVA’s two-way, onde as variáveis categóricas eram a vazão (fixa x flutuante) e os horários de coleta (7 – 15 – 23h); (ii) entre as estações de chuvas e seca por meio de Testes *t*; (iii) e entre os horários de coleta diários do “drift” por meio de

ANOVA's one-way, Testes de Tukey *post-hoc* foram utilizados para identificar as diferenças entre os fatores quando significativos. Os dados foram transformados por raiz quadrada, quando necessário, para atender aos pressupostos de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) e homogeneidade de variâncias (Levene) (Zar, 1996). As análises foram realizadas com o auxílio do programa Statistica 8.0.

## RESULTADOS

### *Variáveis físicas e químicas na coluna d'água*

As variáveis físicas e químicas na coluna d'água não apresentaram diferenças significativas entre os períodos de vazão fixa e de vazão flutuante na estação de chuvas. Na estação de seca houve diferença significativa apenas nos valores de pH entre os períodos de vazão fixa e de vazão flutuante (*t*-Test;  $t = 3,09$ ,  $df = 6$ ,  $p = 0,021$ ). Quanto à sazonalidade, todas as variáveis físicas e químicas mensuradas foram significativamente diferentes, comparando-se as estações de chuvas e seca: temperatura (*t*-Test;  $t = 162,98$ ,  $df = 14$ ,  $p < 0,001$ ), pH ( $t = -2,75$ ,  $p = 0,016$ ), condutividade elétrica ( $t = -6,78$ ,  $p < 0,001$ ), turbidez ( $t = 21,01$ ,  $p < 0,001$ ), oxigênio dissolvido ( $t = -6,13$ ,  $p < 0,001$ ), Nitrogênio total ( $t = 2,98$ ,  $p = 0,009$ ) e Fósforo total ( $t = 3,00$ ,  $p = 0,009$ ) (Tabela 1).

Tabela 1: Variáveis físicas e químicas na coluna d’água (média  $\pm$  DP) a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG, medidas durante o período de amostragem do “drift” nas estações de chuva (janeiro) e seca (julho) de 2010.

	Chuvas (n=8)*		Seca (n=8)	
	Vazão fixa	Vazão flutuante	Vazão fixa	Vazão flutuante
Temperatura da água (°C)	25,10 $\pm$ 0,10	25,16 $\pm$ 0,09	17,94 $\pm$ 0,05	17,99 $\pm$ 0,12
pH	7,24 $\pm$ 0,30	7,11 $\pm$ 0,12	7,52 $\pm$ 0,11	7,33 $\pm$ 0,06
Condutividade elétrica ( $\mu$ S.cm <sup>-1</sup> )	13,25 $\pm$ 0,50	13,00 $\pm$ 0,82	15,50 $\pm$ 1,00	16,00 $\pm$ 0,82
Turbidez (UNT)	51,68 $\pm$ 6,31	57,23 $\pm$ 7,49	2,01 $\pm$ 0,14	1,95 $\pm$ 0,11
Oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	7,73 $\pm$ 0,26	7,30 $\pm$ 0,82	8,90 $\pm$ 0,14	8,83 $\pm$ 0,15
Nitrogênio Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,070 $\pm$ 0,006	0,065 $\pm$ 0,016	0,053 $\pm$ 0,013	0,051 $\pm$ 0,007
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,062 $\pm$ 0,020	0,055 $\pm$ 0,035	0,029 $\pm$ 0,001	0,032 $\pm$ 0,003

\* número de amostras.

### Composição total no “drift”

Nas duas campanhas foram coletados 31.924 organismos distribuídos em 46 táxons, compostos principalmente por insetos aquáticos (99%). Os grupos mais abundantes nas amostras foram Diptera (11 famílias, 83,4%), Trichoptera (6 famílias, 11,1%), Ephemeroptera (5 famílias, 4,6%), Coleoptera (7 famílias, 0,4%) e Hemiptera (5 famílias, 0,1%). Em relação à abundância total de organismos coletados, Simuliidae (69,8%), Hydropsychidae (9,21%), Chaoboridae (8,21%), Chironomidae (5,18%), Leptophlebiidae (1,96%),

Leptohyphidae (1,84%) e Polycentropodidae (1,02%) foram os mais representativos.

#### *Influência de alterações de vazão no “drift” de invertebrados*

As flutuações de vazão causaram modificações na composição e estrutura dos macroinvertebrados em “drift”, com diferenças significativas evidenciadas entre os períodos de vazões fixas e flutuantes nas estações de chuvas e seca.

Houve diferenças significativas na composição taxonômica de invertebrados no “drift” entre as amostras coletadas nos períodos de vazão fixa e flutuante na estação de chuvas, evidenciadas pelas análises de nMDS e similaridade (ANOSIM;  $R = 0,406$  ;  $p < 0,001$ ) (Figura 2a). Os táxons mais abundantes nas amostras coletadas na estação de chuvas com vazão fixa foram Simuliidae (30,1%), Chaoboridae (23,5%), Hydropsychidae (21,5%), Chironomidae (9,9%), Leptohyphidae (4,6%), Polycentropodidae (2,5%), Hydroptilidae (1,8%) e Leptophlebiidae (1,7%), enquanto que os táxons mais abundantes nas amostras coletadas no período com flutuações diárias foram Hydropsychidae (38,2%), Chaoboridae (26,5%), Chironomidae (12,1%), Simuliidae (5,9%), Polycentropodidae (3,9%), Leptohyphidae (3,8%), Leptophlebiidae (3,6%) e Hydroptilidae (2,3%) (Figura 3).

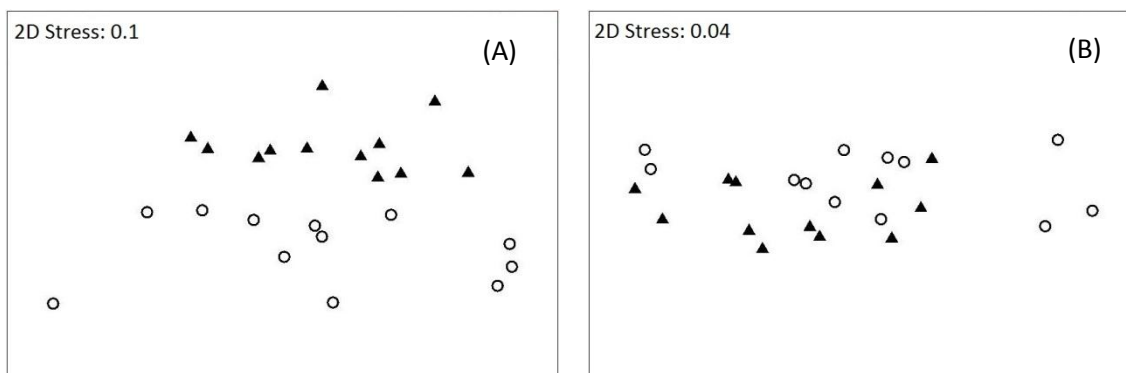


Figura 2: nMDS com a composição taxonômica de macroinvertebrados no “drift” entre os períodos de vazão fixa (triângulos) e vazão flutuante (círculos) na estação de chuvas (A) e na estação seca (B) de 2010 a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG.

Na estação seca também foram observadas diferenças significativas na composição taxonômica de invertebrados no “drift” entre as amostras coletadas nos períodos de vazão fixa e flutuante (ANOSIM;  $R = 0,257$  ;  $p = 0,035$ ) (Figura 2b). Os táxons mais abundantes nas amostras coletadas na estação seca com vazão fixa foram Simuliidae (92,2%), seguido por Chironomidae (2,3%), Leptophlebiidae (1,4%), Chaoboridae (1,1%) e Hydropsychidae (1,0%). Para o período com flutuações diárias, os táxons mais abundantes nas amostras coletadas foram Simuliidae (86,4%), Chironomidae (4,0%), Chaoboridae (2,7%), Leptophlebiidae (2,1%) e Leptohyphidae (1,3%) (Figura 3). As maiores diferenças observadas na composição taxonômica ocorreram entre os grupos menos abundantes, onde Gyrinidae e Caenidae, por exemplo, foram coletados apenas no período com vazão fixa, e outros, como Gomphidae e Psychodidae, coletados apenas no período com vazão flutuante.



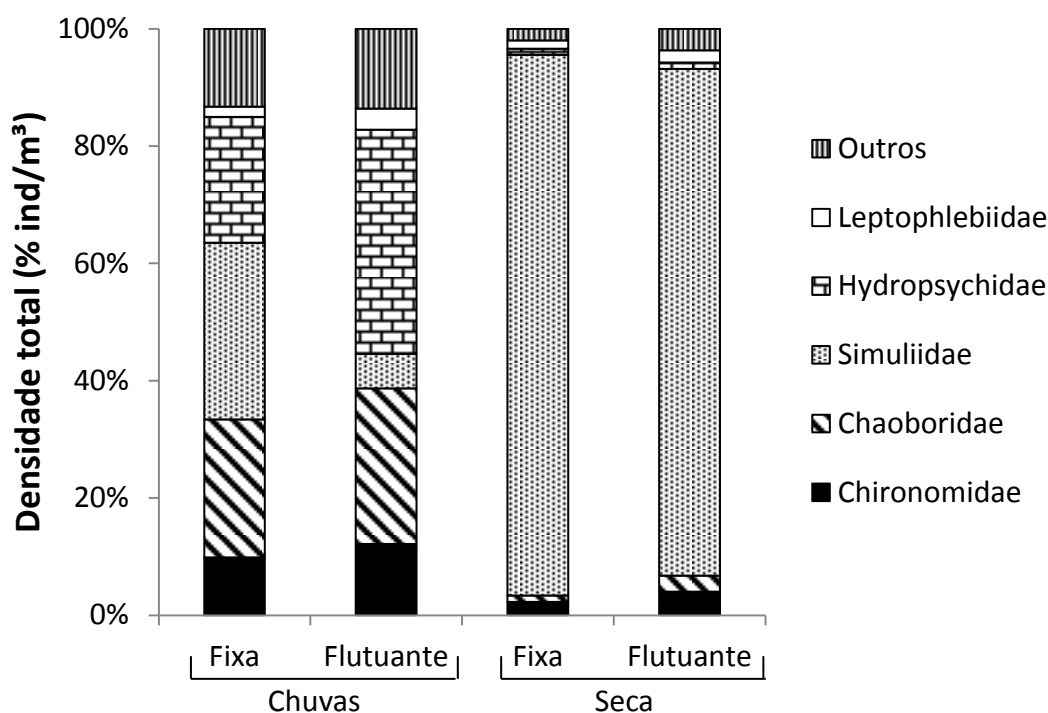


Figura 3: Composição percentual dos principais grupos de invertebrados no “drift” encontrados nos períodos de vazão fixa e vazão flutuante na estação de chuvas (janeiro/2010) e na estação de seca (julho/2010) a jusante do reservatório da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG.

A avaliação da estrutura de invertebrados presentes no “drift” evidenciou diferenças na densidade total de invertebrados (ANOVA two-way;  $F_{2,18} = 5,5674$ ;  $p = 0,013$ ) entre os períodos de vazão fixa e de vazões flutuantes na estação de chuvas, principalmente nas coletas realizadas das 23 às 7h. A riqueza taxonômica observada foi de 38 táxons no período de vazão fixa, com 4.110 organismos identificados, e de 35 táxons no período de vazão flutuante, com 4.762 organismos identificados. A riqueza rarefeita não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, sendo de  $21,8 \pm 3,3$  (Média  $\pm$  DP) para o período de vazão fixa e de  $18,1 \pm 1,8$  para o período de vazão flutuante na estação de chuvas.

Na estação seca não foram observadas diferenças significativas na densidade total de invertebrados entre os períodos de vazão fixa e de vazões flutuante. A riqueza taxonômica observada foi de 27 táxons no período de vazão fixa, com 14.643 organismos identificados, e de 28 táxons no período de vazão flutuante, com 8.409 organismos identificados. A riqueza rarefeita não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, sendo de  $14,9 \pm ,27$  (Média  $\pm$  DP) para o período de vazão fixa e de  $14,5 \pm 1,2$  para o período de vazão flutuante na estação de seca.

Em relação aos valores de propensão ao “drift” não foram evidenciadas diferenças significativas entre os períodos de vazões fixas e flutuantes tanto no período de chuvas quanto no de seca.

#### *Mudanças sazonais no “drift” de invertebrados*

A sazonalidade teve forte influência sobre a composição e estrutura da assembléia de invertebrados presentes no “drift”. Dos 31.924 organismos coletados, 8.872 indivíduos classificados em 44 táxons foram coletados na estação de chuvas (somando-se as amostras dos períodos com vazão fixa e flutuante) e 23.052 em 33 táxons coletados na estação de seca (também somados ambos os períodos). Hydropsychidae (30,4%), Chaoboridae (25,1%), Simuliidae (17,1%), Chironomidae (11,1%), Leptohyphidae (4,2%) e Polycentropodidae (3,7%) foram os grupos mais abundantes no “drift” na estação de chuvas. Por outro lado, na estação de seca, os grupos mais abundantes nas amostras de “drift” foram Simuliidae (90,1%), Chironomidae

(2,9%), Chaoboridae (1,7%), Leptophlebiidae (1,66%) e Hydropsychidae (1,0%).

Foram observadas mudanças significativas na assembléia de invertebrados no “drift” entre as estações de chuvas e seca, tanto nos períodos de vazão fixa quanto nos períodos de vazão flutuante. Comparando-se os períodos de vazão fixa entre as estações de chuvas e seca houve uma significativa separação entre as amostras coletadas, tanto para os dados de abundância (ANOSIM;  $R = 0,969$ ;  $p < 0,001$ ) (Figura 4a) quanto de presença e ausência de táxons ( $R = 0,326$ ;  $p = 0,004$ ) (Figura 4b). No período de vazão flutuante, entre as estações de chuvas e seca, foram evidenciadas diferenças significativas para os dados de abundância (ANOSIM;  $R = 0,955$ ;  $p < 0,001$ ) (Figura 4c) e para os de presença e ausência de táxons ( $R = 0,236$ ;  $p = 0,033$ ), porém não houve distinção dos grupos ( $R < 0,25$ ) (Figura 4d).

Não foram encontradas diferenças significativas na interação entre horário de coleta e estação, comparando os valores de densidade dos períodos de vazão fixa entre as estações de chuva e seca (ANOVA fatorial;  $F_{2,18} = 2,958$ ;  $p = 0,077$ ). Os maiores valores de densidade foram encontrados na estação de seca (Figura 5a), sendo que a maior porcentagem de explicação para a variação (49,5%) da densidade pode ser atribuída ao fator vazão. Tanto a riqueza observada ( $t$ -Test;  $t = 2,848$ ;  $df = 6$ ;  $p = 0,029$ ) quanto a riqueza rarefeita ( $t = 3,195$ ;  $p = 0,019$ ) foram significativamente maiores na estação de chuvas (Figura 5b).

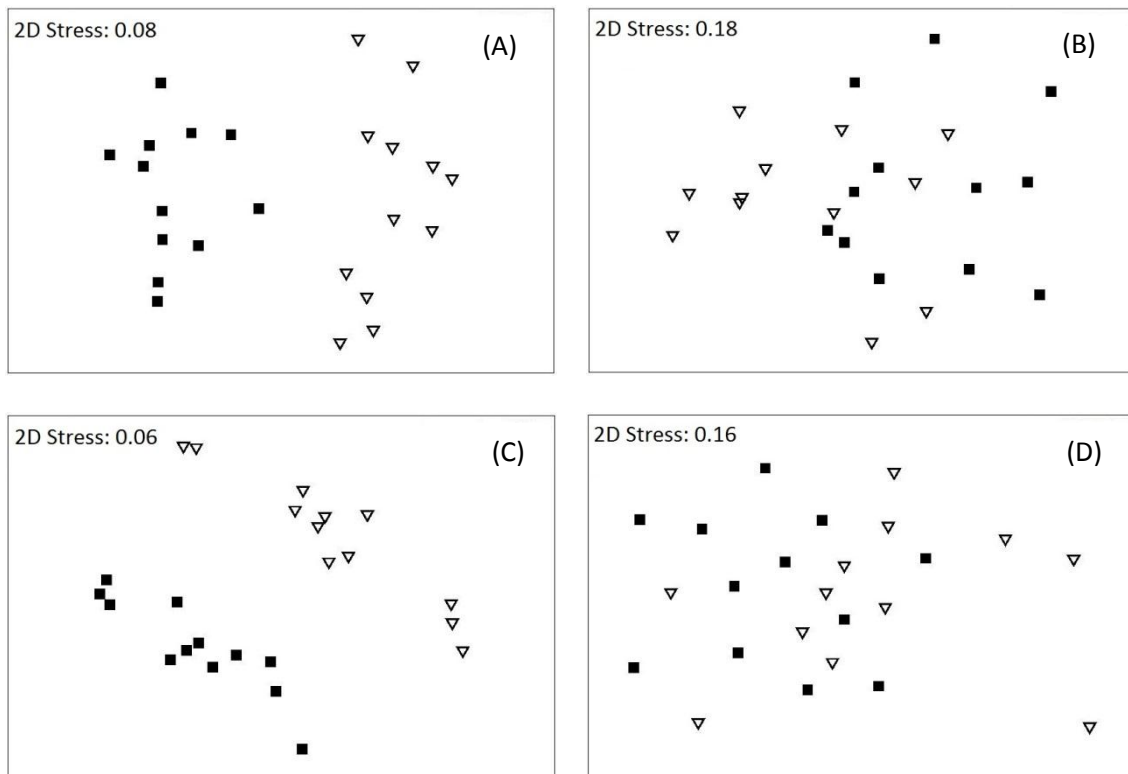


Figura 4: nMDS baseadas nos dados de abundância (A) e presença/ausência (B) comparando os períodos de vazão fixa e nos dados de abundância (C) e presença/ausência (D) comparando os períodos de vazão flutuante entre as estações de chuva (quadrados) e seca (triângulos) dos macroinvertebrados coletados no “drift” em 2010 a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG.

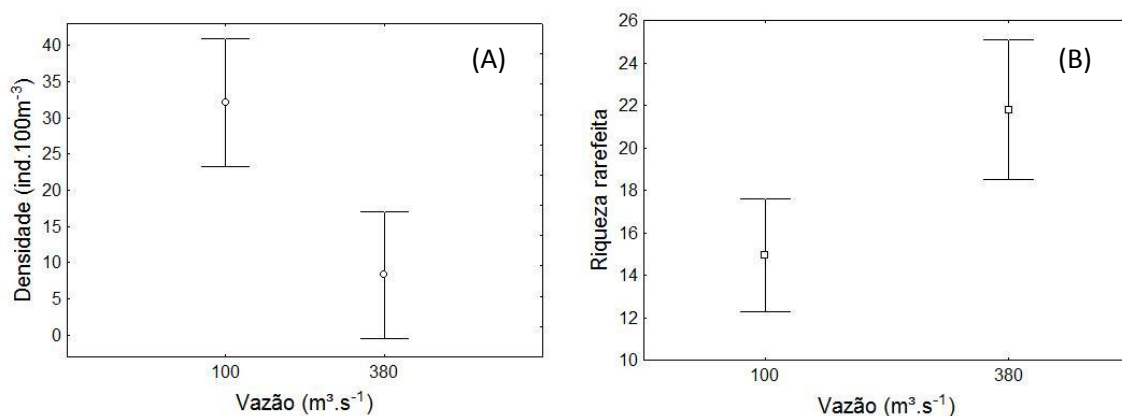


Figura 5: Representação gráfica da análise de variância para os valores de densidade (A) e do test-*t* para os valores de riqueza rarefeita (B) de macroinvertebrados no “drift” comparando os períodos com vazão fixa das estações de chuvas e seca de 2010 a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG.

Para o período com flutuações de vazão entre as estações de chuvas e seca a interação entre horário de coleta e estação não foi significativa para os

valores de densidade (ANOVA fatorial  $F_{2,18} = 1,766$ ;  $p = 0,199$ ). Não foram encontradas diferenças entre as estações e a maior porcentagem de explicação para a variação (67,1%) da densidade pode ser atribuída ao fator horário, onde os maiores valores de densidade foram observados nas coletas entre 23 e 7h. Para os valores de riqueza observada não foram encontradas diferenças significativas entre as estações de chuva e seca com vazão fixa, enquanto que os valores de riqueza rarefeita foram significativamente maiores na estação de chuvas ( $t$ -Test = 3,178;  $df = 6$ ;  $p = 0,019$ ).

#### *Varição horária no “drift”*

Na estação de chuvas com vazão fixa não foram encontradas diferenças na densidade e riqueza de invertebrados entre os horários de coleta. Por outro lado, na estação de chuvas com vazão flutuante foram encontradas diferenças significativas na coleta realizada das 23 às 7h em relação aos outros horários de coleta (7 às 15h e 15 às 23h) nos valores de densidade (ANOVA one-way;  $F_{2,9} = 15,670$ ;  $p = 0,00117$ ) e riqueza ( $F_{2,9} = 10,311$ ;  $p = 0,0047$ ) (Figura 6).

Na estação seca com vazão fixa foram encontradas diferenças entre os diferentes horários de coleta na riqueza (ANOVA one-way;  $F_{2,9} = 5,257$ ;  $p = 0,030$ ) e densidade ( $F_{2,9} = 14,670$ ;  $p = 0,001$ ), sendo que a densidade foi maior nas coletas realizadas nos intervalos das 23 às 7h e 15 às 23h e a riqueza foi maior na coleta das 23 às 7h. Na estação seca com vazão flutuante também foram encontradas diferenças na riqueza ( $F_{2,9} = 5,6264$ ;  $p = 0,0260$ ) e densidade ( $F_{2,9} = 5,7265$ ;  $p = 0,0248$ ), com maiores valores encontrados nas coletas das 23 às 7h e 15 às 23h (Figura 6).

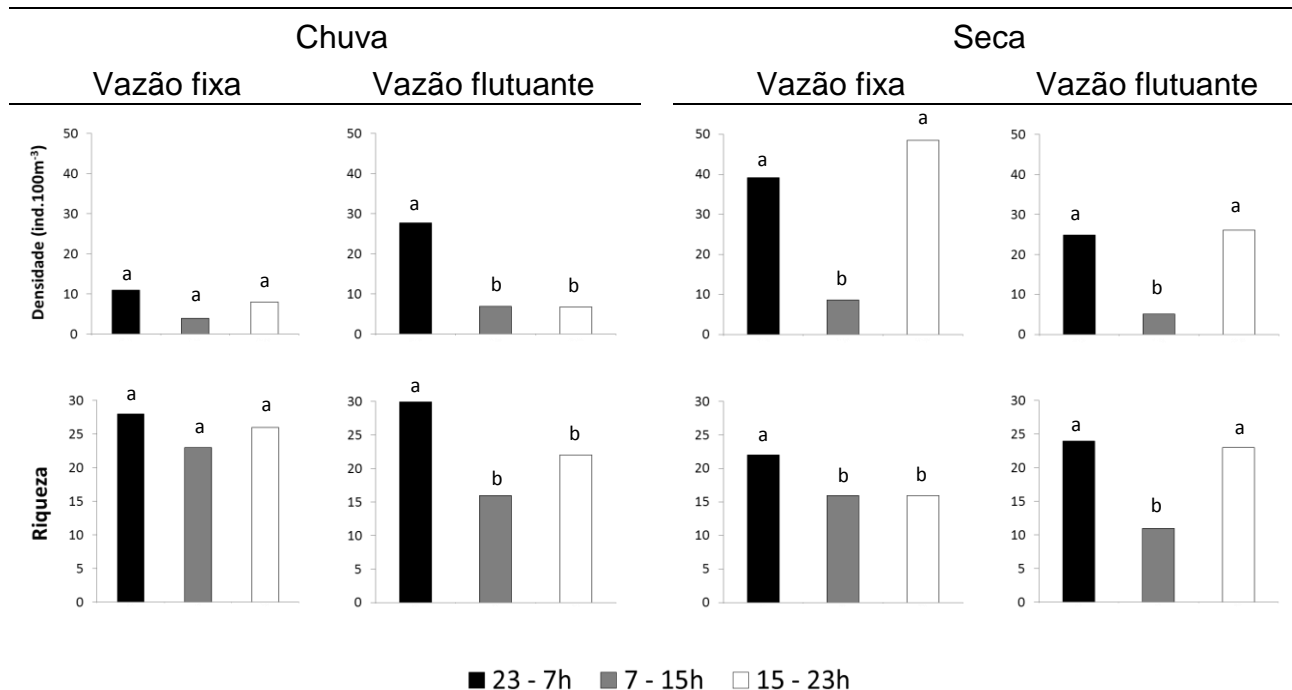


Figura 6: Valores de densidade e riqueza entre os diferentes horários de coleta de invertebrados no “drift” durante os períodos de vazão fixa e vazão flutuante nas estações de chuvas e seca de 2010 a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG. As letras “a” a “b” indicam diferenças significativas entre os horários.

Analisando separadamente a porcentagem relativa dos grupos de invertebrados no “drift” em cada horário, pode-se verificar que em alguns grupos houve variação significativa entre os horários de coleta em relação à sazonalidade e vazão (Figura 7), como Chironomidae, Simuliidae e Trichoptera no período de vazão fixa na estação seca e Ephemeroptera no período de vazão fixa na estação de chuvas.

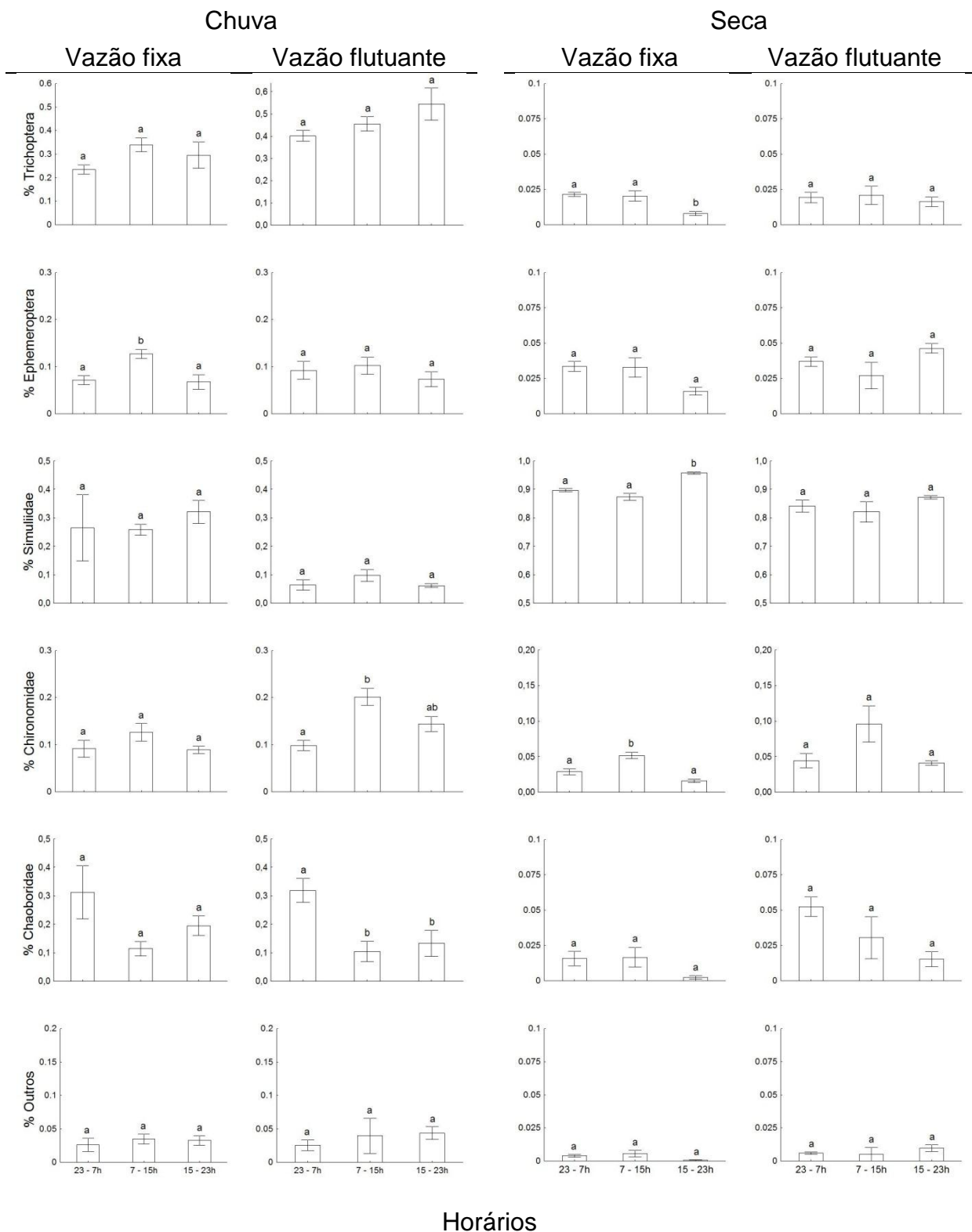


Figura 7: Porcentagens relativas (média ± EP) dos principais grupos de invertebrados no “drift” divididos pelos horários de coleta (23-7h, 7-15h, 15-23h) nos períodos de vazão fixa e flutuante nas estações de chuvas e seca a jusante da UHE de Itutinga, Rio Grande-MG. As letras “a” e “b” indicam diferenças significativas entre os horários.

## DISCUSSÃO

Nas estações de seca e chuvas em que este trabalho foi conduzido, as flutuações de vazão decorrentes da operação da usina não causaram mudanças significativas nas variáveis físicas e químicas na coluna d'água a jusante da usina. Diferentemente dos resultados obtidos por Naliato *et al.*, (2009) que observou diferenças limnológicas a jusante de barragens decorrentes da variação diária da vazão, a jusante da UHE de Itutinga os parâmetros de coluna d'água não variaram. A UHE de Itutinga possui um reservatório pequeno (7 hm<sup>3</sup> de volume útil) e é operada a fio d'água, ou seja, possui uma pequena capacidade de armazenamento, apenas repassando a vazão que foi regularizada a montante no reservatório de Camargos. Geralmente reservatórios profundos e com elevado tempo de residência tendem a exibir acentuadas estratificações térmicas e químicas (Straskraba, 1999).

As diferenças encontradas nas variáveis físicas e químicas mensuradas na coluna d'água quando comparados os períodos sazonais estão diretamente relacionadas à precipitação. Na estação chuvosa há um aumento no fluxo de água dos afluentes que abastecem o reservatório, provavelmente carreando maior quantidade de sedimentos e matéria orgânica de origem alóctone.

A riqueza de táxons coletada durante todo o período amostral corrobora a importância desta metodologia de coleta, principalmente em rios de grande porte (Flecker, 1992). Redes de “drift” permitem uma amostragem integrada de vários habitats e possibilitam a obtenção de informações sobre a presença de



componentes migratórios nas assembléias de invertebrados (Pringle & Ramírez, 1998).

Informações sobre a dinâmica do “drift” em rios tropicais são limitadas a poucas áreas geográficas (Ramírez & Pringle, 1998) e a riachos de pequeno porte (Callisto & Goulart, 2005). Trabalhos avaliando a dinâmica do “drift” em grandes rios e com experimentos hidráulicos são escassos (Poff *et al.*, 2010). A oportunidade de manipular vazões a jusante de uma usina hidrelétrica, de forma pioneira em um ambiente tropical, permitiu avaliar a influência de flutuações diárias nas assembléias de macroinvertebrados, analisando o deslocamento acidental e o comportamento ativo por meio da coleta dos invertebrados à deriva.

As flutuações de vazão tiveram forte influência na assembléia de invertebrados a jusante da usina, principalmente na estação de chuvas, refletida pelos aumentos na densidade e na mudança da abundância relativa de alguns táxons neste período, como Hydropsychidae e Chironomidae. Alterações no fluxo resultam em diferentes condições hidráulicas que podem causar a lavagem e revolvimento do sedimento, causando danos mecânicos diretos e remoção de organismos bentônicos, aumentando o número de invertebrados no “drift” (Callisto & Goulart, 2005).

Corroborando os resultados aqui obtidos, vários trabalhos têm documentado uma correlação positiva entre o aumento da vazão e a densidade de invertebrados no “drift” (Pearson & Franklin, 1968; Bird & Hynes, 1981; Scullion & Sinton, 1983). Na UHE de Itutinga foram observados aumentos nas densidades de invertebrados no “drift” nos períodos em que ocorreram aumentos na vazão, principalmente de larvas de Trichoptera, que são mais

susceptíveis ao “drift” passivo. Contudo, Irvine (1985) relata que as densidades de invertebrados no “drift” aumentam com pulsos de vazão se os valores anteriores tiverem sido estáveis. Porém, em situações onde contínuos e frequentes pulsos de vazão ocorrem, algumas vezes não são observados aumentos das densidades de invertebrados no “drift”. A manutenção de vazões constantes permite uma maior estabilização dos habitats e, conseqüentemente, das comunidades biológicas associadas (Armitage, 1978). Por outro lado, as alterações na vazão podem causar distúrbios no sistema, permitindo a coexistência de colonizadores e espécies mais competitivas, aumentando os valores de riqueza (Connell, 1978). Esse padrão foi observado durante os períodos de flutuações de vazão, tanto na estação de chuvas quanto na seca.

Outros autores têm analisado a influência de flutuações de vazão avaliando as alterações na densidade e riqueza de assembléias bentônicas (Gislason, 1985; Garcia de Jalon *et al.*, 1994). Troeststrup & Hergenrader (1990), por exemplo, utilizaram substratos artificiais para comparar a resposta de assembléias de invertebrados às flutuações diárias de vazão a jusante de uma usina durante um período de vazões estáveis. Na ausência dos picos de vazão foi observado um aumento de 4 vezes na riqueza taxonômica e de 8 vezes na densidade total comparando-se o período de vazão estável com o período de flutuações diárias.

Além das alterações nos valores de densidade e riqueza, houve também mudanças na composição de invertebrados no “drift” devido às alterações na vazão tanto na estação de chuvas quanto na seca. A modificação na composição de invertebrados no “drift” pode estar relacionada ao aumento de velocidade da água, o que aumenta o efeito de lavagem do substrato (Brittain &

Eikeland, 1988). Esse processo provavelmente aumenta a chance de deslocamento, principalmente quando os organismos estão ativos (Mackay & Kalff, 1973), bem como removê-los de seus refúgios ou deslocando-os de seus habitats (Ciborowski, 1983). Essas mudanças devem estar ligadas ao hábito de vida dos organismos e características do ciclo de vida das espécies.

O aumento nas densidades de Hydropsychidae com o aumento do fluxo na estação de chuvas confirmou sua intolerância a flutuações de vazão, corroborando os resultados encontrados por Elliott (1968), Troelstrup & Hergenrader (1990) e Boon (1993). Ao contrário dos Hydropsychidae, os Simuliidae tiveram suas densidades reduzidas com as flutuações de vazão, tanto na estação de chuvas quanto na de seca. Segundo Chance & Craig (1986), as larvas de Simuliidae têm menor risco de serem passivamente deslocadas sobre mudanças moderadas na vazão dado seu sofisticado controle hidrodinâmico e adaptações morfológicas para manter-se no substrato, o que não acontece com Hydropsychidae.

No trecho de rio estudado a jusante da barragem, os Chironomidae mostraram-se bastante tolerantes às flutuações de vazão, com pouca variação em suas densidades durante os pulsos de vazão, corroborando os resultados de Gislason (1985) e Troelstrup & Hergenrader (1990). Em contra-partida, Irvine & Henriques (1984) encontraram que os Chironomidae foram muito susceptíveis ao “drift” em resposta a flutuações de vazão em um rio regulado na Nova Zelândia. Em trabalhos futuros é importante aprofundar na identificação taxonômica, pois espécies/gêneros de uma mesma família podem ter comportamentos diferentes em relação ao “drift”. Assim, é provável que

respostas mais consistentes sejam obtidas e haja um entendimento melhor dos efeitos das flutuações de vazão sobre os invertebrados.

Diferentemente das regiões temperadas onde o “drift” é reduzido a valores mínimos durante o inverno, nos rios de regiões tropicais e sub-tropicais variações sazonais são menos aparentes ou mesmo inexistentes (Brittain & Eikeland, 1988). As densidades de organismos no “drift” foram maiores na estação de seca (inverno) do que na estação de chuvas (verão), corroborando os dados encontrados por Cowell & Carew (1976), mas diferentes de Hynes (1975), que não encontrou diferenças nas densidades de “drift” em um rio africano estudando diferentes épocas do ano. Apesar da menor amplitude, neste trabalho foram observadas variações sazonais no “drift” de invertebrados, principalmente em relação à composição taxonômica.

A principal diferença encontrada entre as estações de chuva e seca foi em relação aos valores de densidade de Simuliidae. Na estação seca eles responderam por mais de 90% da composição total, contra 17% na estação de chuva. Provavelmente essas diferenças estão relacionadas ao ciclo de vida, períodos reprodutivos e densidades populacionais destes invertebrados aquáticos. Além disso, vários trabalhos têm demonstrado uma grande densidade de invertebrados filtradores, como Simuliidae, a jusante de reservatórios, provavelmente como um resultado do suprimento de plâncton carregado destes ambientes (Armintage, 1978). De forma geral, as maiores densidades planctônicas são observadas em períodos de maior estabilidade hidrodinâmica nos sistemas aquáticos, geralmente na estação seca (Figueredo & Giani, 2001), favorecendo a colonização de espécies filtradoras.

A variação horária no “drift” é um padrão recorrente, com inúmeros estudos mostrando que o “drift” aumenta durante o período noturno, principalmente logo após o pôr-do-sol (Poff & Ward, 1991; Ramírez & Pringle, 1998; Hansen & Closs, 2007). Contudo, no período de vazão fixa na estação de chuvas não foram observadas diferenças no “drift” entre os diferentes horários de coleta. Isso pode ser um indício de que na estação de chuvas em rios regulados por barramentos hidrelétricos os invertebrados aquáticos podem não apresentar um padrão de “drift” que varie ao longo do dia. Lauters *et al.* (1996) observaram que os repetidos picos de vazão de uma usina alteraram o comportamento natural do “drift”, reduzindo a atividade noturna. Talvez no nosso experimento o período de estabilização de vazão de 30 dias não tenha sido o suficiente para que as assembléias de invertebrados se estabelecessem e passassem a exibir um padrão de periodicidade horária de entrada no “drift”. Por outro lado, na estação de chuvas com vazão flutuante foram observados maiores valores de densidade e riqueza nas coletas realizadas das 23 às 7hs, evidenciando que os pulsos de vazão tiveram influência no comportamento dos invertebrados aquáticos a jusante da usina.

Na estação seca foram observados maiores densidades e valores de riqueza taxonômica nas coletas realizadas no período noturno, tanto no período com vazão fixa quanto no período com vazão flutuante. Provavelmente os padrões observados estão relacionados com as altas densidades dos invertebrados no sedimento, que devido à competição intra-específica, tendem a entrar no “drift” em busca de novos locais para colonizar. Então essa entrada no “drift” se dá principalmente no período noturno, minimizando as chances de predação (Flecker, 1992).

Os padrões horários podem se tornar mais complexos se o “drift” é fracionado em diferentes táxons ou em estágios do ciclo de vida. Alguns grupos, como Ephemeroptera, Plecoptera e Simuliidae, normalmente têm seu “drift” máximo durante a noite, assim como os Trichoptera, embora excepcionalmente algumas famílias destas ordens possam ter o “drift” máximo durante o dia (Brittain & Eikeland, 1988). Neste trabalho foi observado que alguns grupos apresentaram variação nas densidades diárias no “drift”, porém em nenhum grupo foi observado um padrão recorrente ao longo das coletas. Assim, destaca-se a importância de estudos de longo prazo e com áreas de referência em trechos a montante e em rios da região que não estão sob influência de barramentos, para se entender melhor o comportamento de invertebrados no “drift”.

Devido a dificuldades experimentais e econômicas na manipulação de vazão em usinas hidrelétricas, este estudo não pôde ser realizado em outros empreendimentos hidrelétricos no mesmo período. Porém recomenda-se que esta abordagem de estudo de invertebrados em “drift” seja desenvolvida a jusante de outras usinas para que os dados possam ser comparados e metodologias de monitoramento dos impactos sejam estabelecidas e ajustadas às realidades regionais em cada bacia hidrográfica. Um melhor entendimento dos efeitos de mudanças de vazão nos invertebrados aquáticos é necessário para que as pesquisas possam subsidiar as ações e recomendações das autoridades e tomadores de decisão em função de diminuir os efeitos a jusante de barramentos. Assim, os macroinvertebrados presentes no “drift” devem ser um parâmetro importante a ser considerado nos cálculos de vazões ambientais, pois eles claramente refletem as mudanças ecológicas nas

comunidades biológicas a jusante. Desta forma, a colaboração entre o setor hidrelétrico e pesquisadores pode contribuir para minimizar os efeitos ecológicos de manipulações de vazão sobre a biota aquática a jusante de barramentos hidrelétricos.

## **CONCLUSÕES**

As mudanças observadas na estrutura e, principalmente, na composição de invertebrados no “drift” refletem o impacto que a comunidade de macroinvertebrados bentônicos sofre com as flutuações de vazão decorrentes da operação de uma usina hidrelétrica. Essas mudanças podem causar distúrbios em todo o ecossistema aquático, pois os macroinvertebrados participam ativamente de processos ecológicos importantes como a ciclagem de nutrientes e são uma ligação entre seus recursos alimentares e níveis tróficos superiores, incluindo peixes e aves aquáticas.

Os resultados evidenciaram que o maior arraste de macroinvertebrados ocorre principalmente no período de chuvas nos momentos em que há alterações nas vazões decorrentes da operação da UHE. Esse maior arraste pode causar desequilíbrio nas cadeias alimentares, tanto nas regiões próximas aos barramentos, pela diminuição dos invertebrados no sedimento, quanto nas regiões a jusante, pela maior quantidade de invertebrados deslocados, que são importante recurso alimentar para a ictiofauna.

A utilização de redes de “drift” como metodologia de coleta mostrou-se uma importante ferramenta para a obtenção de métricas de comunidades

biológicas que podem ser utilizadas na parametrização de vazões ambientais. As flutuações de vazão podem afetar os organismos presentes em determinados habitats que normalmente não são amostrados com as metodologias de coleta utilizadas. A coleta dos organismos presentes no “drift” pode fornecer informações mais consistentes das influências das variações de vazão sobre as comunidades biológicas a jusante de barramentos.

O estudo de perturbações ecológicas causadas por operação de usinas hidrelétricas é essencial para a conservação da biodiversidade aquática, porém requer pesquisas de longa duração. O uso de diferentes metodologias, em conjunto, podem auxiliar na elaboração de estratégias para o estabelecimento de vazões ambientais, propiciando a geração de energia elétrica de maneira sustentável e com menor impacto ao meio ambiente.



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Os resultados deste estudo mostraram que as assembléias de macroinvertebrados a jusante da UHE de Itutinga são afetadas pelas flutuações diárias de vazão, principalmente na estação de chuvas. O uso de redes de “drift” como metodologia de coleta de macroinvertebrados, ainda pouco utilizada nas regiões tropicais, mostrou-se eficiente e que pode ser utilizada em trabalhos futuros, mesmo em rios de grande porte.

Entretanto, devido às dificuldades econômicas e logísticas na manipulação de vazões, este estudo não pôde ser replicado em outros empreendimentos a fim de se compreender melhor os efeitos das flutuações de vazão sobre as comunidades aquáticas. Assim, recomenda-se que trabalhos semelhantes e estudos de longo prazo sejam desenvolvidos a jusante de outras usinas hidrelétricas, com diferentes períodos amostrais, diferentes períodos de estabilização de vazões e considerando áreas de referência onde não há influência de barramentos.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para a determinação de vazões ambientais, essenciais para garantir a conservação dos ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade, visando a geração de energia de uma forma mais sustentável e com menor impacto para o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- Acreman, M. C. & J. D. Ferguson, 2010. Environmental flows and European Water Framework Directive. *Freshwater Biology* 55: 32-48.
- Agostinho, A. A., A. M. Thomaz & L. C. Gomes, 2005. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. *Megadiversidade* 1: 70-78.
- Agostinho, A. A., L. C. Gomes & F. M. Pelicice, 2007. Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: EDUEM.
- Allan, J. D., 1995. Stream ecology: structure and function of running waters. Chapman & Hall, London.
- Allan, J. D. & E. Russek, 1985. The quantification of stream drift. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 210-215.
- APHA, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington: American Public Health Association.
- Armitage, P. D., 1978. Downstream changes in the composition, numbers and biomass of bottom fauna in the Tees River, below Cow Green Reservoir and in an unregulated tributary Maize Beck, in the first five years after impoundment. *Hydrobiologia* 58: 145-156.
- Arthington, A. H., J. Naiman, M. E. Maclain & C. Nilson, 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology* 55: 1-16.
- Bird, G. A. & H. B. N. Hynes, 1981. Movement of immature aquatic insects in a lotic habitat. *Hydrobiologia* 77: 103-112.
- Boon, P. J., 1993. Distribution, abundance and development of Trichoptera larvae in the river north Tyne following the commencement of hydroelectric power generation. *Regulated Rivers: Research and Management* 8: 211-224.

- Brittain, J. E. & T. J. Eikeland, 1988. Invertebrate drift – a review. *Hydrobiologia* 166: 77-93.
- Bunn, S. E. & A. H. Arthington, 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507.
- Callisto, M. & M. Goulart, 2005. Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serra do Cipó National Park, Brazil. *Hydrobiologia* 539: 47-56.
- CEMIG, 2010. Rios de Minas/ Bacia do rio Grande. Disponível em: [www.portalpeixevivo.com.br/rios.asp](http://www.portalpeixevivo.com.br/rios.asp). Acesso em 10/11/2010.
- Chance, M. M. & D. A. Craig, 1986. Hydrodynamics and behavior of Simuliidae larvae (Diptera). *Canadian Journal of Zoology* 64: 1295-1309.
- Ciborowski, J. J. H., 1983. Influence of current velocity, density, and detritus on drift of two mayfly species (Ephemeroptera). *Canadian Journal of Zoology* 61: 119-125.
- Clarke, K. R. & R. M. Warwick, 2011. Change in marine communities an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition, Primer-e Ltd., Plymouth Marine Laboratory.
- Connell, J., 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science* 199: 1304-1310.
- Cowell, B. C. & W. C. Carew, 1976. Seasonal and diel periodicity in the drift of aquatic insects in a subtropical Florida stream. *Freshwater Biology* 6: 587-594.
- Cushman, R. M. 1985. Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management* 5: 330-339.
- Elliott, J. M., 1968. The life histories and drifting of Trichoptera in a Dartmoor stream. *Journal of Animal Ecology* 37: 615-625.

- Figueredo, C. C. & A. Giani, 2001. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 445: 165-174.
- Flecker, A. S., 1992. Fish predation and the evolution of invertebrate drift periodicity: evidence from Neotropical streams. *Ecology* 73: 438-448.
- Garcia de Jalon, D. G., P. Sanchez & J. A. Camargo, 1994. Downstream effects of a new hydropower impoundment on macrophyte, macroinvertebrate and fish communities. *Regulated Rivers: Research and Management* 9: 253-261.
- Gislason, J. C., 1985. Aquatic insect abundance in a regulated stream under fluctuating and stable diel flow patterns. *North American Journal of Fisheries Management*. 5: 39-46.
- Gotelli, N. J. & R. K. Colwell, 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379–391.
- Hansen, E. A. & G. P. Closs, 2007. Temporal consistency in the long-term spatial distribution of macroinvertebrate drift along a stream reach. *Hydrobiologia* 575: 361-371.
- 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.
- Huhta, A., T. Muotka, & P. Tikkanen, 2000. Nocturnal drift of mayfly nymphs as a post-contact antipredator mechanism. *Freshwater Biology* 45: 33-42.
- Hynes, J. D., 1975. Downstream drift of invertebrates in a river in southern Ghana. *Freshwater Biology* 5: 515-532.
- Irvine, J. R., 1985. Effects of successive flow perturbations on stream invertebrates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42: 1922-1927.

- Irvine, J. R. & P. R. Henriques, 1984. A preliminary investigation on effects of fluctuating flows on invertebrates of the Hawea river, a large regulated river in New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 18: 283-290.
- Lauters, F., P. Lavandier, P. Lim, C. Sabaton & A. Belaud, 1996. Influence of hydropeaking on invertebrates and their relationship with fish feeding habits in a pyrenean river. *Regulated Rivers: Research & Management* 12: 563-573.
- Mackay, R. J. & J. Kalff, 1973. Ecology of two related species of caddisfly larvae in the organic substrates of a woodland stream. *Ecology* 54: 499-511.
- McIntosh, A. R., B. L. Peckarsky & B. W. Taylor, 2002. The influence of predatory fish on mayfly drift: extrapolating from experiments to nature. *Freshwater Biology* 47: 1497-1513.
- Merritt R. W. & K. W. Cummins. 1998. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall/Hunt Iowa.
- Minshall, G. W. & P. V. Winger, 1968. The effect of reduction in stream flow on invertebrate drift. *Ecology* 49: 580-582.
- Mugnai, R., J. L. Nessimian & D. F. Baptista, 2010. *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do estado do Rio de Janeiro*. Technical Books Editora Ltda Rio de Janeiro.
- Naliato, D. A. O., M. G. Nogueira & G. Perbiche-Neves, 2009. Discharge pulses of hydroelectric dams and their effects in the downstream limnological conditions: a case study in a large tropical river (SE Brazil). *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 14: 301-314.
- Nilsson, C., C. A. Reidy, M. Dynesius, & C. Revenga, 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308: 405-408.

- Patterson, R. J. & K. E. Smokorowski, 2011. Assessing the benefit of flow constraints on the drifting invertebrate community of a regulated river. *River Research and Applications* 27: 99-112.
- Pearson, W. D. & D. R. Franklin, 1968. Some factors affecting drift rates of *Baetis* and *Simuliidae* in a large river. *Ecology* 49: 75-81.
- Pérez, G. R., 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Colciencias Bogotá.
- Petts, G. E., 1984. *Impounded Rivers: Perspectives for Ecological Management*. Environmental Monographs and Symposia. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Poff, N. L., J. D. Allan, M. B. Bain, J. R. Karr, K. L. Prestegard, B. D. Richter, R. E. Sparks & J. C. Stromberg, 1997. The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47: 769-784.
- Poff, N. L., B. D. Richter, A. H. Arthington, S. E. Bunn, R. J. Naiman, E. Kendy, M. Acreman, C. Apse, B. P. Bledsoe, M. C. Freeman, J. Henriksen, R. B. Jacobson, J. G. Kennen, D. M. Merritt, J. H. O'keeffe, J. D. Olden, K. Rodgers, R. E. Tharme & A. Warner, 2010. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55: 147-170.
- Poff, N. L. R. & J. Ward, 1991. Drift responses of benthic invertebrates to experimental streamflow variation in a hydrologically stable stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 1926-1936.
- Poff, N. L. & J. K. H. Zimmerman, 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55: 194-205.
- Pompeu, P. S., L. S. Reis, C. V. Gandini, R. C. R. Souza & J. M. Favero, 2009. The ichthyofauna of upper rio Capivari: defining conservation strategies based on the composition and distribution of fish species. *Neotropical Ichthyology* 7: 659-666.

- Pringle, C. M. & A. Ramírez, 1998. Use of both benthic and drift sampling techniques to assess tropical stream invertebrate communities along an altitudinal gradient, Costa Rica. *Freshwater Biology* 39: 359-373.
- Ramirez, A. & C. M. Pringle, 1998. Invertebrate drift and benthic community dynamics in a lowland tropical stream, Costa Rica. *Hydrobiologia* 386: 19-26.
- Richter, B. D., R. Mathews, D. L. Harrison & R. Wigington, 2003. Ecologically sustainable water management: managing river flows for ecological integrity. *Ecological Applications* 13: 206-224.
- Scullion, J. & A. Sinton, 1983. Effects of artificial freshets on substratum composition, benthic invertebrate fauna and invertebrate drift in two impounded rivers in Mid-Wales. *Hydrobiologia* 107: 261-269.
- Straskraba M., 1999. Retention time as a key variable of reservoir limnology. In Tundisi, J. G. & M. Straskraba, (Eds). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: Brazilian Academy of Sciences. p. 385-410.
- Troelstrup, N. H. & G. L. Hergenrader, 1990. Effect of hydropower peaking flow fluctuations on community structure and feeding guilds of invertebrates colonizing artificial substrates in a large impounded river. *Hydrobiologia* 199: 217-228.
- Ward, J. V. & J. A. Stanford, 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In Fontaine, T. D. & S. M. Bartell (Eds.), *Dynamics of Lotic Ecosystems*. Ann Arbor Science: pp. 29-42.
- Zar, J. H., 1996. *Biostatistical analysis*. 3 ed. New Jersey: Prentice–Hall.