

COMPONENTES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÕES DE VAZÕES ECOLÓGICAS A JUSANTE DE BARRAMENTO HIDRELÉTRICO

Marcos Callisto^{1,2}; Paulo S. Pompeu³; Taynan H. Tupinambás¹; Diego M. P. Castro¹; Juliana França^{1,2}; Hersília de A. Santos⁴; Alexandre F. C. Sampaio³; Cíntia V. Gandini³; Carlos B. M. Alves² & Antonio T. Matta-Machado²

Resumo- A vazão ambiental visa estabelecer o regime necessário de vazões, garantindo sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos, conservação da biota, quantidade de água necessária para assegurar múltiplos usos antrópicos a jusante de barramentos hidrelétricos. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de manipulações de vazões sobre comunidades de macroinvertebrados bentônicos e em drift e peixes na perspectiva de bioindicadores de qualidade de água, procurando garantir a geração de energia. Foram realizados dois experimentos de manejo adaptativo buscando avaliar as respostas biológicas a (i) diferentes vazões nos períodos úmido e seco e (ii) flutuações diárias de vazão. Os resultados evidenciaram que: não houve variação de parâmetros físicos e químicos de qualidade de água entre os períodos sazonais; as comunidades de macroinvertebrados são significativamente mais influenciadas pelas variações sazonais do que pelas flutuações diárias de vazão; foram encontradas diferenças na composição de macroinvertebrados em “drift” no período de chuvas em diferentes vazões; flutuações de vazões influenciam a ictiofauna, tanto em número de indivíduos quanto em biomassa. São discutidas medidas de gestão e operação atendendo à demanda por energia nos horários de pico, conciliando os interesses antrópicos e a necessária conservação da biota aquática.

Abstract- The environmental flows consider the necessities for freshwater sustainability, guaranteeing the conservation of river biota and multiple uses downstream hydropower plants. The main goal of this study was to assess the effects of discharge manipulations on the benthic macroinvertebrates and benthic drift, and on the fishes, as bioindicators of environment quality, maintaining the electrical power generation. Adaptative management experiments were conducted to assess biological responses to (i) different discharges on wet and dry periods and (ii) daily flow fluctuations. The results shown that: there were no significant changes in physical and chemical water quality parameters between the wet and dry seasons; benthic communities were significantly more influenced by seasonal changes on discharge than by daily discharge changes; significant differences on macroinvertebrates drift were observed on the wet season; discharge fluctuations influenced changes on fish number and biomass. We discuss environmental and operation management to energy demands, dealing with human interests and the necessity of freshwater wildlife conservation.

Palavras-chave: vazão ambiental, conservação biodiversidade, serviços ecológicos

¹ Laboratório de Ecologia de Bentos, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antonio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP. 30161-970, www.biogeral.icb.ufmg.br/benthos, e-mail: callistom@ufmg.br

² NUVELHAS/Projeto Manuelzão, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antonio Carlos 6627, Unidade Administrativa III, sala 157, Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP. 30161-970, www.manuelzao.ufmg.br

³ Laboratório de Ictiologia, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras. Campus Universitário, CEP. 37200-000, Lavras, MG

⁴ Departamento de Engenharia Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Av. Amazonas 7675, CEP. 30510-000, Belo Horizonte, MG.

INTRODUÇÃO

Alterações na vazão de grandes rios, devido à construção de barramentos hidrelétricos, tem sido um sério risco à integridade ambiental, à manutenção de processos biológicos e espécies aquáticas. Em diversos casos as alterações no regime contribuíram para a extinção de espécies nativas e para a invasão por espécies exóticas (Craig, 2000). Mais da metade dos grandes rios tem suas águas represadas, alterando o regime natural de pulsos de inundação em termos de magnitude, momento, frequência, duração e taxas de mudanças hidráulicas (Poff *et al.*, 1997). A vazão ambiental pode ser expressa como aquela suficiente para manter o ecossistema aquático e as atividades antrópicas que dele dependem (Medeiros, 2007). A vazão é um fator físico responsável pela disponibilidade de habitats físicos e composição de comunidades biológicas em rios, influenciando a história de vida de inúmeras espécies aquáticas em resposta à variabilidade natural. A regularização da vazão de grandes rios acarreta consequências diretas também nos serviços ecológicos, incluindo: (i) comprometimento de fontes de água para abastecimento devido a florações de cianobactérias; (ii) impossibilidade de utilização como áreas de recreação devido à perda da qualidade ambiental por assoreamento, lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento; (iii) controle de cheias e sua importância para fertilização de planícies de inundação, reprodução de espécies aquáticas e ciclagem de nutrientes. Flutuações diárias de vazão, principalmente na operação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) têm sido menos avaliadas. Esta modificação da vazão ocorre para atender à maior demanda de energia entre as 17 e 22 horas. Diversas barragens retêm parte significativa da vazão afluente no reservatório ao longo do dia, permitindo a geração plena no período denominado horário de ponta.

O conceito de vazão ambiental, ou vazão ecológica, tem sido pouco utilizado na gestão e operação de empreendimentos hidrelétricos. Conceitualmente, visa estabelecer o regime de vazões necessárias para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e a quantidade de água necessária a jusante, de forma a assegurar os múltiplos usos antrópicos e o volume necessário para estocagem no lago do reservatório em diferentes momentos do ciclo hidrológico anual (Poff *et al.*, 2010). Este conceito foi inicialmente considerado em rios de regiões temperadas e recentemente, em países de regiões tropicais, amplas discussões sobre questões legais têm abordado a necessidade de avaliar quanto, como, e de que forma, a vazão a jusante de barramentos hidrelétricos deve ser gerida para garantir os serviços ambientais e a manutenção da biodiversidade aquática (Tharme, 2003). Na América do Sul, pesquisadores na região tropical Andina têm recentemente aplicado o conceito de vazão ambiental no manejo de barramentos em grandes rios, impulsionados pelo crescente número de empreendimentos hidrelétricos e preocupações com a biodiversidade aquática (Anderson *et al.*, 2011). No entanto, a quantidade de água necessária para dar sustentabilidade

ecológica a um rio é variável ao longo do tempo e deve, necessariamente, considerar diferentes momentos do regime hidrológico, não apenas as épocas de estiagem (Collischonn et al., 2005). Anderson *et al.* (2011) constatou que mais de 200 métodos de definição de vazão ambiental têm sido desenvolvidos globalmente desde a segunda metade do século passado e que estes métodos podem ser classificados em 4 principais grupos: metodologias baseadas na hidrologia, metodologias que consideram taxas hidráulicas, metodologias que simulam habitats e metodologias holísticas.

O objetivo deste estudo foi contribuir para a parametrização de vazões ecológicas considerando comunidades de organismos aquáticos, bentos e peixes, em uma perspectiva transdisciplinar e inovadora, em parceria com a CEMIG através de financiamento da ANEEL. Esta abordagem consistiu em buscar quantificar a vazão necessária para garantir a geração de energia e conservar as comunidades biológicas na perspectivas de bioindicadores de qualidade de água e integridade ambiental. Dois experimentos do tipo manejo adaptativo foram realizados buscando avaliar as respostas biológicas a (i) diferentes vazões nos períodos úmido e seco e (ii) flutuações diárias de vazão. Foram mensurados parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimento, realizadas amostragens quantitativas de comunidades biológicas e avaliados os habitats aquáticos em diferentes vazões e momentos do ciclo hidrológico a jusante de um barramento hidrelétrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Experiências a jusante do reservatório de Itutinga

O reservatório de Itutinga localiza-se na bacia do rio Grande, que possui aproximadamente 1300 Km de extensão. O Rio Grande nasce na Serra da Mantiqueira, percorre todo o Triângulo Mineiro e une-se ao rio Paranaíba para formar o rio Paraná. Atualmente, ele possui 12 barramentos (Camargos, Itutinga, Funil, Furnas, Peixoto, Estreito, Jaguará, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo e Água Vermelha – distribuídos de montante para jusante).

Por apresentar um reservatório com pequena capacidade de armazenamento (11 hm^3), a UHE Itutinga é considerada uma usina a fio d'água. Sua potência instalada é de 52MW, gerada a partir de 4 unidades geradoras. A regularização da vazão para UHE Itutinga é realizada principalmente pelo reservatório da UHE Camargos, situado à montante. Este possui capacidade de 850 hm^3 e fornece vazão para 2 unidades geradoras que totalizam uma potência instalada de 46MW.

Tem sido realizada uma análise detalhada do regime hidrológico, incluindo a magnitude das vazões mínimas, a magnitude das vazões máximas, o tempo de duração das estiagens, o tempo de ocorrência das cheias, a frequência das cheias, a época de ocorrência dos eventos de cheias e estiagens (Poff *et al.*, 1997). Procuramos avaliar aspectos fundamentais do regime hidrológico para a manutenção de habitats aquáticos e comunidades biológicas considerando as seguintes características: (1) vazões de base no período úmido e no período seco; (2) cheias normais, que

ocorrem quase todos os anos; (3) cheias extraordinárias, que não ocorrem todos os anos; (4) vazões mínimas extraordinárias; (5) taxas de variação da vazão ao longo do tempo; (6) variabilidade interanual de todas as características anteriores (Postel e Richter, 2003).

Com base na análise hidrológica têm sido propostos hidrogramas que contemplem vazões para o atendimento das principais demandas ecológicas. Diante da disponibilidade de água na bacia, avaliada através das precipitações na região, têm sido estabelecidas relações entre os possíveis hidrogramas ecológicos e vazão afluente disponível em Camargos.

Duas abordagens, na forma de experimentos hidráulicos através de manipulações de vazões a jusante do barramento de Itutinga, foram desenvolvidas:

(i) Analisar a influência de diferentes vazões pré-estabelecidas sobre a fauna aquática a jusante da Usina Hidrelétrica de Itutinga, respondendo às seguintes perguntas:

- A manutenção de vazões inferiores ou superiores às médias históricas implica em modificações nas comunidades aquáticas?
- O efeito da modificação destas vazões é diferente quando comparadas as estações seca e chuvosa?
- Qual fator exerce maior efeito sobre as comunidades: a sazonalidade ou a modificação nas vazões?

(ii) Analisar a influência de flutuações diárias de vazão, simulando a operação em ponta de uma usina hidrelétrica, sobre as comunidades aquáticas, respondendo às seguintes perguntas:

- Flutuações diárias de vazão provocam mudanças nas comunidades em termos de riqueza, abundância e biomassa?
- Estas mudanças se processam de maneira diferente no caudal do rio e na região litorânea?
- Os efeitos das flutuações são diferentes nas estações seca e chuvosa?

Em 2010 coletas intensivas (6 dias de duração) foram realizadas em duas situações: (i) após períodos de 30 dias de estabilização de vazões (janeiro e março-chuvas; julho e outubro- seca) e, (ii) em períodos com flutuações diárias de vazões entre 18:00 e 22:00hs logo após o período de vazões estabilizadas (janeiro e julho). Avaliação de condições ecológicas (Callisto *et al.*, 2002), parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimento, amostragens de comunidades de macroinvertebrados bentônicos, peixes e invertebrados em “drift” foram realizadas. As coletas de “drift” foram realizadas em quatro campanhas com duração de quatro dias cada, respectivamente nos períodos de chuvas (janeiro/2010) e seca (julho/2010), com vazão estabilizada e outra com vazão flutuante. Foram amostrados 3 habitats: praia, remanso e corredeira.

Concomitantemente, análises hidrológicas e de custo da implementação da vazão ecológica vêm sendo realizadas com dados de monitoramento fornecidos pela CEMIG. Os dados, para o reservatório da UHE Camargos, compreendem o histórico de operação dos 30 anos hidrológicos

compreendidos entre outubro de 1979 e setembro de 2009, e, para o reservatório da UHE Itutinga, se referem a 19 anos hidrológicos, compreendidos no período de outubro de 1990 a setembro de 2009.

RESULTADOS

Parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimento

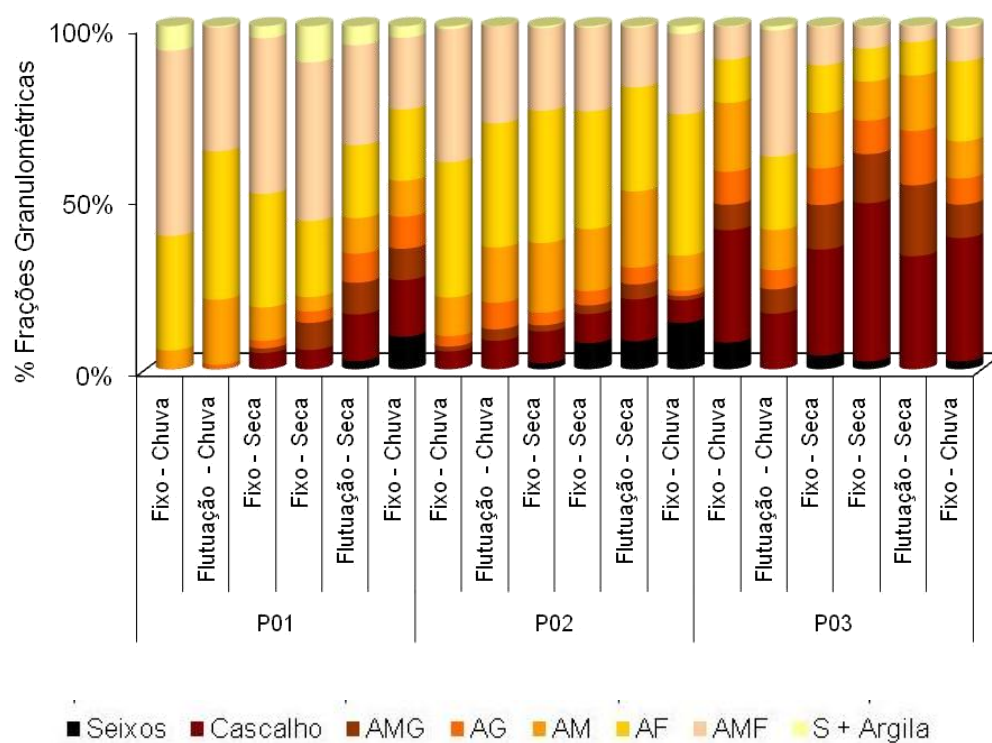
A mensuração de parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimento não evidenciou variação expressiva ao longo do ano de 2010, comparando os períodos de chuvas e seca, mantendo-se dentro do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005, para águas de Classe 2 (Brasil, 2005, Tabela 1).

Os resultados da aplicação do protocolo de caracterização evidenciaram alterações nas áreas de entorno e no leito do rio, nos 3 habitats amostrados. As estações amostrais foram classificadas de alterada a natural, variando de 57 (P01) a 77 (P03) pontos. Os parâmetros que representaram as principais alterações foram: a estabilidade das margens (pequenas áreas de erosão) e tipos de fundo (depósitos sedimentares), não tendo sido observadas alterações consideráveis ao longo do ano de 2010. Os valores de pH da água apresentaram-se próximos ao neutro, entre 6,21 e 7,74 (dentro dos limites CONAMA: entre 6 e 9). A condutividade elétrica e os teores de sólidos totais dissolvidos foram baixos, 11-18 μ S/cm e 7-14 μ g/L, respectivamente (referência STD CONAMA: 500 μ g/L). A turbidez apresentou ligeiro aumento, de 1,8 a 66,6 UTN (referência CONAMA: 100UTN), principalmente no período de chuvas, o que reflete o revolvimento do sedimento do rio, pelo aumento do turbilhonamento da coluna d'água, devido à forte vazão. Os valores do potencial oxir-reox positivos evidenciaram o papel do compartimento sedimentar como sumidouro de nutrientes. As concentrações de oxigênio dissolvido mantiveram-se altas em todo o período amostral (>6,1mg/L; chegando a 100% de saturação; referência CONAMA: > 5mg/L). A capacidade de tamponamento (medidas de alcalinidade total) e as concentrações de CO₂ Total foram positivas (até 162,4 μ Eq/L de CO₂ e 369,6 μ Mol/L, respectivamente). As concentrações de P-Total e N-Total mantiveram-se dentro do limite estabelecido pela resolução CONAMA (abaixo de 0,1 e 1,27 mg/L, respectivamente) (Tabela 1).

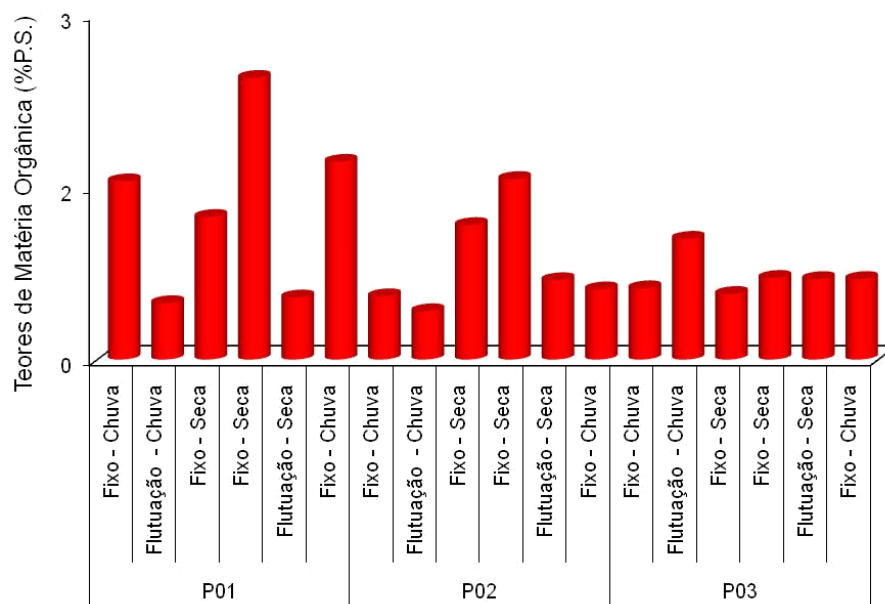
Tabela 1: Variáveis abióticas mensuradas nas estações de coleta ao longo do ano de 2010, variação de vazão 90m³/s a 430m³/s bacia do rio Grande, a jusante do reservatório de Itutinga, MG.

Variáveis	Valores mínimos - máximos	CONAMA 357 Classe 2
T°C Ar	14 – 29	
T°C Água	18 – 26	
Protocolo de caracterização ambiental	57 – 77	
pH	6,21 – 7,74	6-9
Condutividade (µS cm ⁻¹)	11 - 18	
Sólidos Totais (µg L ⁻¹)	7 - 14	500
Turbidez (UNT)	2 - 67	100
Redox Água (mV)	150 - 339	
Redox Sedimento (mV)	(-)297 - (+)380	
Oxigênio (mg L ⁻¹)	6,1 – 9,5	>5
Nitrogênio (mg L ⁻¹)	0,042 – 0,098	0,1
Fósforo (mg L ⁻¹)	0,024 – 0,509	1,27
Saturação OD (%)	74 - 100	
Alcalinidade (µEq L ⁻¹ de CO ₂)	1,88 – 162,4	
CO ₂ Total (µMol/L)	2,18 – 369,6	

A análise da composição granulométrica dos sedimentos evidenciou que, de um modo geral, as estações amostrais apresentaram uma maior porcentagem de areias (>65%), com predomínio de sedimentos finos (<0,5 mm) no ponto localizado em um remanso. Na margem do rio observou-se maior diversidade granulométrica com predomínio de partículas > 1,0mm e no trecho de corredeira o sedimento apresentou-se bem diversificado. Os teores de matéria orgânica nos sedimentos mantiveram-se abaixo de 3% (Figura 1).



(A)



(B)

Figura 1. Composição granulométrica (A) e teores de matéria orgânica do sedimento (B), nas estações de coleta (P01 – remanso; P02 – praia; P03 – corredeira), ao longo do ano de 2010, bacia do rio Grande, a jusante do reservatório de Itutinga, MG.

Comunidades de Macroinvertebrados Bentônicos

Nas amostras coletadas em 2010 foram identificados 24.288 organismos, distribuídos em 40 taxa, sendo a família Chironomidae (insetos da Ordem Diptera), o taxa responsável por 84% desse número, seguido pela família Hydropsychidae com 4% (insetos da Ordem Trichoptera) e Leptohyphidae, 3% (insetos da Ordem Ephemeroptera). Essa dominância da família Chironomidae é comum em rios (Callisto e Moreno, 2005), porém em percentagens menores (c. até 50-60%). Acreditamos que as constantes alterações de vazão a jusante de barramentos hidrelétricos favoreçam a alta dominância desta família, que confirmadamente reúne gêneros e espécies indicadores de alterações antrópicas em ecossistemas aquáticos (Ferreira *et al.* 2011).

As análises estatísticas realizadas até o momento (ANOVA-One way; nMDs e ANOSIM) evidenciam que as comunidades de macroinvertebrados são mais influenciadas pelas variações sazonais do que pelas flutuações diárias de vazão (Tabela 2 e Figura 2). Ou seja, as comunidades demonstram resistência às flutuações diárias de vazão nas magnitudes estudadas e tendem a ser mais influenciadas, em sua composição taxonômica e estrutura, quando submetidas às diferenças sazonais de vazão (períodos de chuvas e seca).

Tabela 2. Análises estatísticas (ANOVA- one way) de métricas de estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos, por tratamento, a jusante do reservatório de Itutinga, rio Grande, MG (>0,05= não significativo; (*) significativo $p < 0,05$; (**) muito significativa $p < 0,01$; (***) altamente significativo $p < 0,001$).

Tratamentos e Métricas	G.L.	F	P
Chuvas x Seca			
<i>Riqueza</i>	-	-	>0,05
<i>Densidade</i>	1,70	28,647	<0,001***
<i>Equitabilidade</i>	1,70	9,466	<0,01**
<i>Diversidade</i>	1,70	8,319	<0,01**
Vazões fixas x Flutuações diárias – Chuvas			
<i>Riqueza</i>	-	-	>0.05
<i>Densidade</i>	-	-	>0.05
<i>Equitabilidade</i>	-	-	>0.05
<i>Diversidade</i>	-	-	>0.05
Vazões fixas x Flutuações diárias – Seca			
<i>Riqueza</i>	-	-	>0.05
<i>Densidade</i>	-	-	>0.05
<i>Equitabilidade</i>	-	-	>0.05
<i>Diversidade</i>	-	-	>0.05

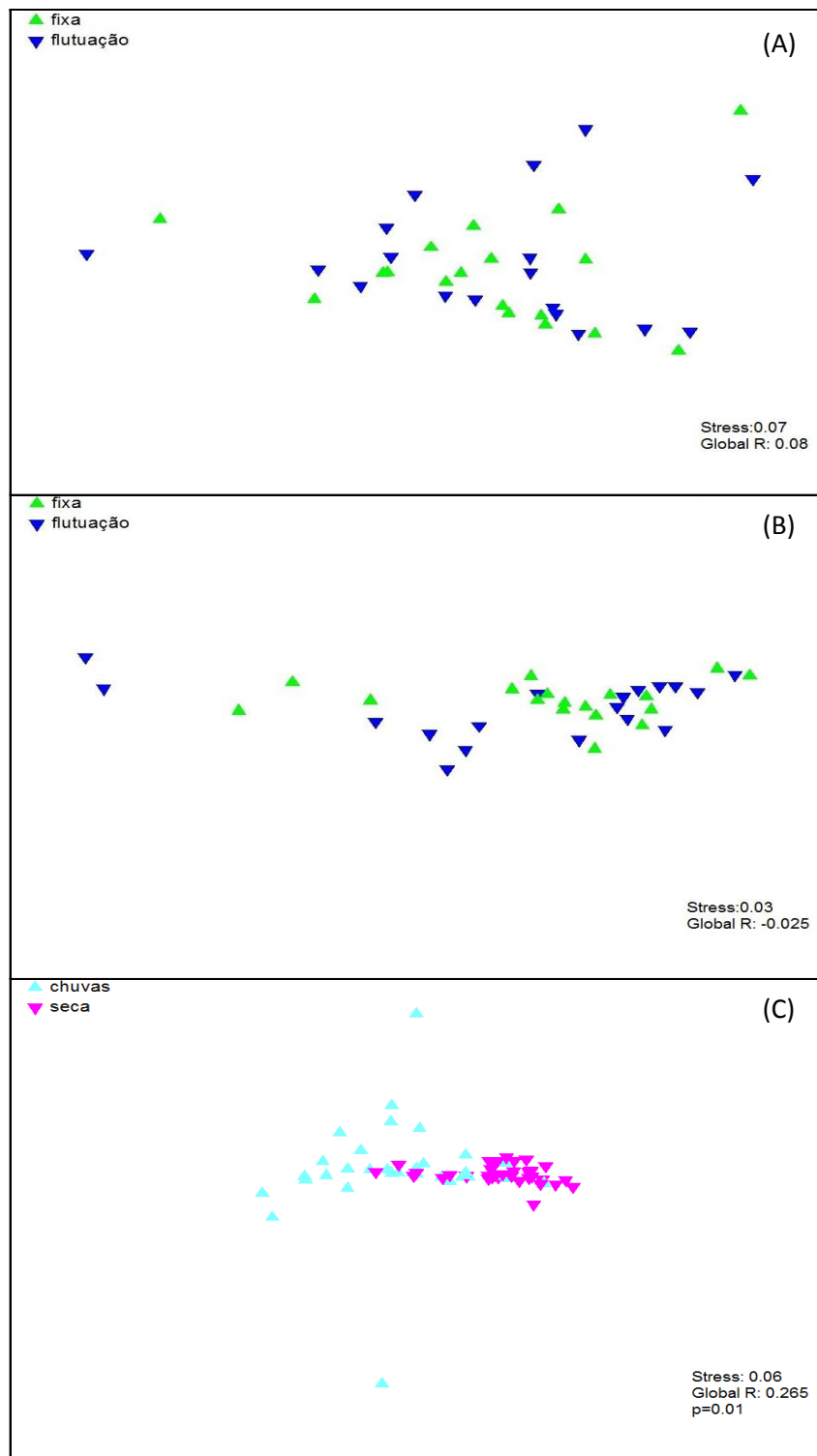


Figura 2: Representação gráfica das análises nMDS e ANOSIM da composição taxonômica em cada tratamento, a jusante do reservatório de Itutinga, rio Grande, MG, comparando: (A) vazões fixas e flutuação diárias (chuvas); (B) comparação vazões fixas e flutuação diárias (seca); (C) chuvas e seca.

“Drift” de macroinvertebrados

Foram coletados 31.924 organismos, distribuídos em 46 taxa. Destes, 8872 indivíduos em 44 taxa foram coletados no período de chuvas, e 23052 em 33 taxa coletados no período de seca. Foram encontradas diferenças na composição taxonômica dos macroinvertebrados à deriva (*drift*) no período de chuvas em relação às diferentes vazões evidenciadas pelas análises de MDS e ANOSIM (Stress = 0,1; Global R = 0,406). No período de vazão fixa (380 m³/s) houve dominância de Simuliidae (30,1%), Chaoboridae (23,5%), Hydropsychidae (21,5%) e Chironomidae (9,9%). A partir do momento que começaram as manipulações de vazão, com picos de 430 m³/s, as amostras foram dominadas por Hydropsychidae (38,2%), Chaoboridae (26,5%), Chironomidae (12,1%) e Simuliidae (5,9%). Foram encontradas diferenças também na densidade, que aumentou com o aumento da vazão (ANOVA two-way, $F_{2,18} = 5.5674$, $p = 0,013$).

No período de seca foram encontradas diferenças entre as diferentes vazões somente para os valores de diversidade (ANOVA two-way, $F_{2,18} = 4.4424$, $p = 0,02$). Não foram encontradas diferenças significativas entre os períodos amostrais para as demais métricas bióticas.

Os dados obtidos evidenciam que as principais mudanças na estrutura e composição dos invertebrados à deriva decorrentes das alterações na vazão ocorrem na estação chuvosa. O fato dos maiores valores de vazão ocorrerem neste período pode contribuir com uma maior desestabilização do sedimento e, assim, um maior deslocamento de macroinvertebrados bentônicos que são levados à deriva pela correnteza.

Comunidade de peixes

Do total de exemplares coletados, foram identificadas 41 espécies de peixes. De maneira geral, flutuações de vazões exercem uma influência sobre a comunidade de peixes, refletindo nas capturas tanto em número de indivíduos (abundância) quanto em biomassa. Em janeiro de 2010, o início das flutuações provocou um aumento repentino das capturas, com redução posterior (Figura 3). Em julho 2010, no entanto, foi observado decréscimo progressivo do número de peixes capturados com o início das flutuações (Figura 4).

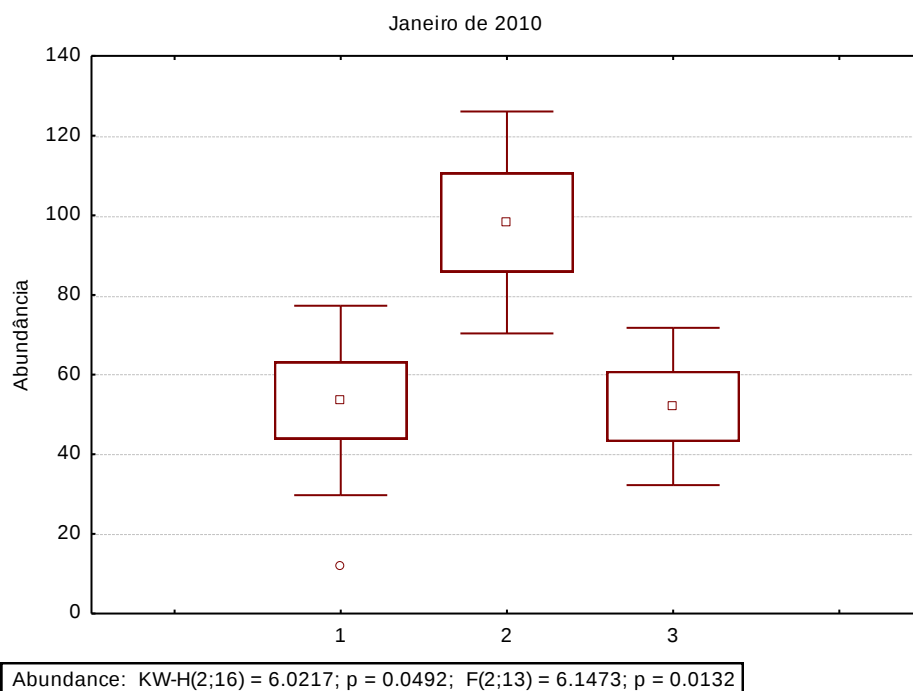


Figura 3. Média, desvio padrão e amplitude do número de peixes capturados no mês de janeiro de 2010 em período sem flutuação (1), nos cinco primeiros (2) e cinco últimos dias (3) com flutuação diária.

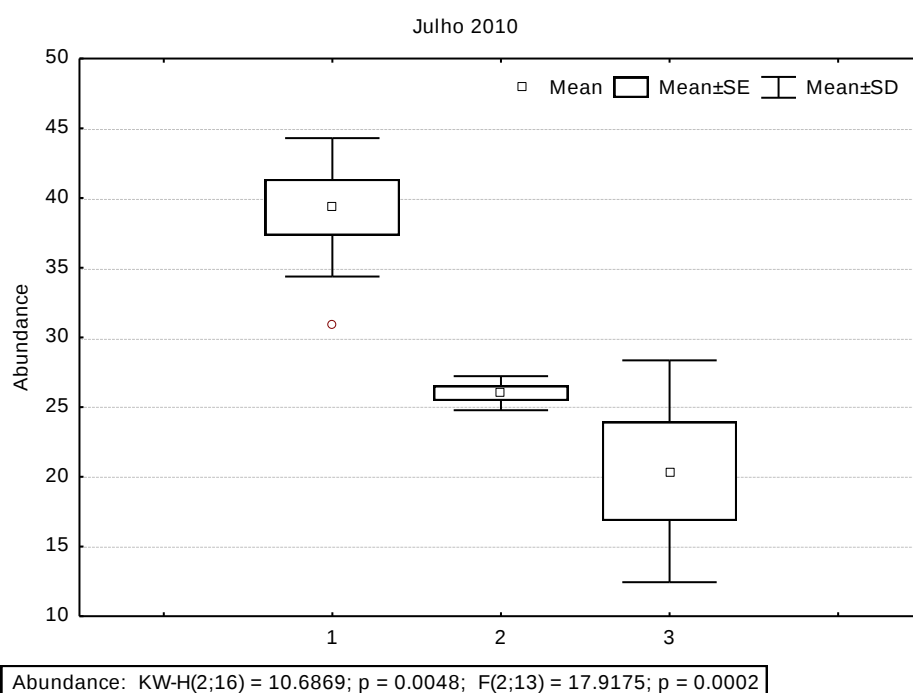


Figura 4. Média, desvio padrão e amplitude do número de peixes capturados no mês de julho em período sem flutuação (1), nos cinco primeiros (2) e cinco últimos dias (3) com flutuação diária.

Para caracterizar os efeitos das alterações de vazão estudadas sobre a dieta das espécies de peixes foram analisados 809 estômagos de 32 espécies, incluindo representantes das guildas piscívora, herbívora, iliófaga/detritívora, algívora, frugívora, invertívora e onívoras. Flutuações

diárias alteraram a dieta de algumas espécies, com provável redução na oferta de sedimento, algas e invertebrados. Esta alteração modificou a estrutura da teia trófica, elevou a conectância, a densidade de conexões e a quantidade de interações fortes (com redução das fracas), tornando a teia trófica da comunidade de peixes mais instável (Figura 5).

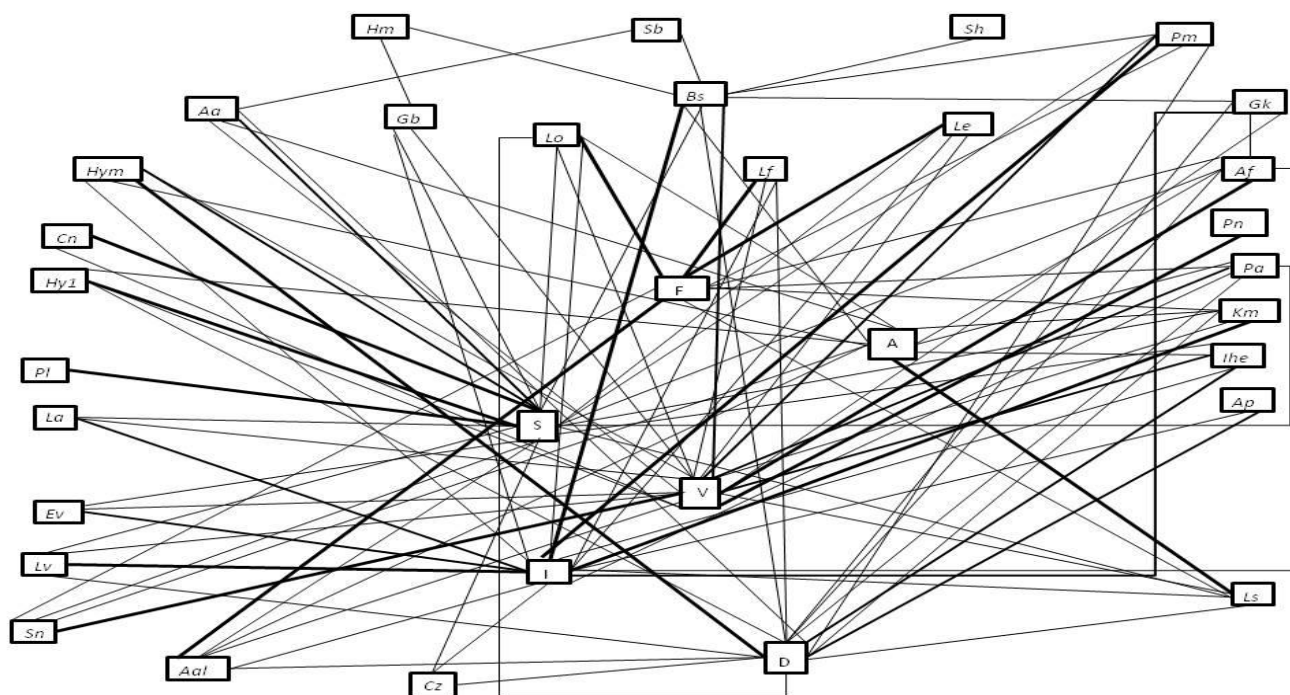


Figura. 5. Representação esquemática da teia trófica nos períodos 2 e 4, em que houve flutuação da vazão, baseada na preferência alimentar (-) e no consumo generalizado das espécies (-) coletadas em janeiro e julho de 2010, à jusante da usina hidrelétrica Itutinga, no rio Grande, sul de Minas Gerais. (Aa: *Apareiodon affinis*; Cn: *Cyphocharax nagelii*; Gb: *Geophagus brasiliensis*; Hym: *Hypostomus aff. margaritifera*; Hy1: *Hypostomus* sp1; Pl: *Prochilodus lineatus*; Sesp: *Serrapinnus* sp.; Bs: *Bryconamericus stramineus*; Ls: *Leporinus striatus*; Pa: *Piabina argentea*; Pn: *Parodon nasus*; Sn: *Schizodon nasutus*; Gk: *Galeocharax knerii*; Hl: *Hoplias intermedius*; Ph: *Pimelodus heraldoi*; Aal: *Astyanax altiparane*; Af: *Astyanax fasciatus*; Lo: *Leporinus octofasciatus*; Km: *Knodus moenkhausii*; Ap: *Astyanax aff. paranae*; As: *Astyanax scabripinnis*; Cz: *Characidium zebra*; Cp: *Cichlasoma paranaense*; Ihe: *Iheringichthys labrosus*; Le: *Leporinus elongatus*; Lf: *Leporinus friderici*; Osp: *Odontostilbe* sp; Pm: *Pimelodus maculatus*; Seh: *Serrapinnus heterodon*; Ev: *Eigenmannia virescens*; Lv: *Leporellus vittatus*; La: *Leporinus amblyrhynchus*; Hm: *Hoplias malabaricus*; Sb: *Salminus brasiliensis*; Sh: *Salminus hilarii* V: Vegetal; S: Sedimento; F: Fruto; A: Alga; D: Detrito; I: Invertebrados).

Dados hidrológicos e análise de custo das vazões ambientais

As primeiras análises hidrológicas têm mostrado que a vazão da UHE Itutinga é controlada principalmente pelo reservatório da UHE Camargos (Figura 6), localizado imediatamente a montante. Desta forma, a proposição de regras operativas que contemplem as vazões ecológicas necessárias para manutenção de comunidades de macroinvertebrados e de peixes deve considerar o reservatório da UHE Camargos.

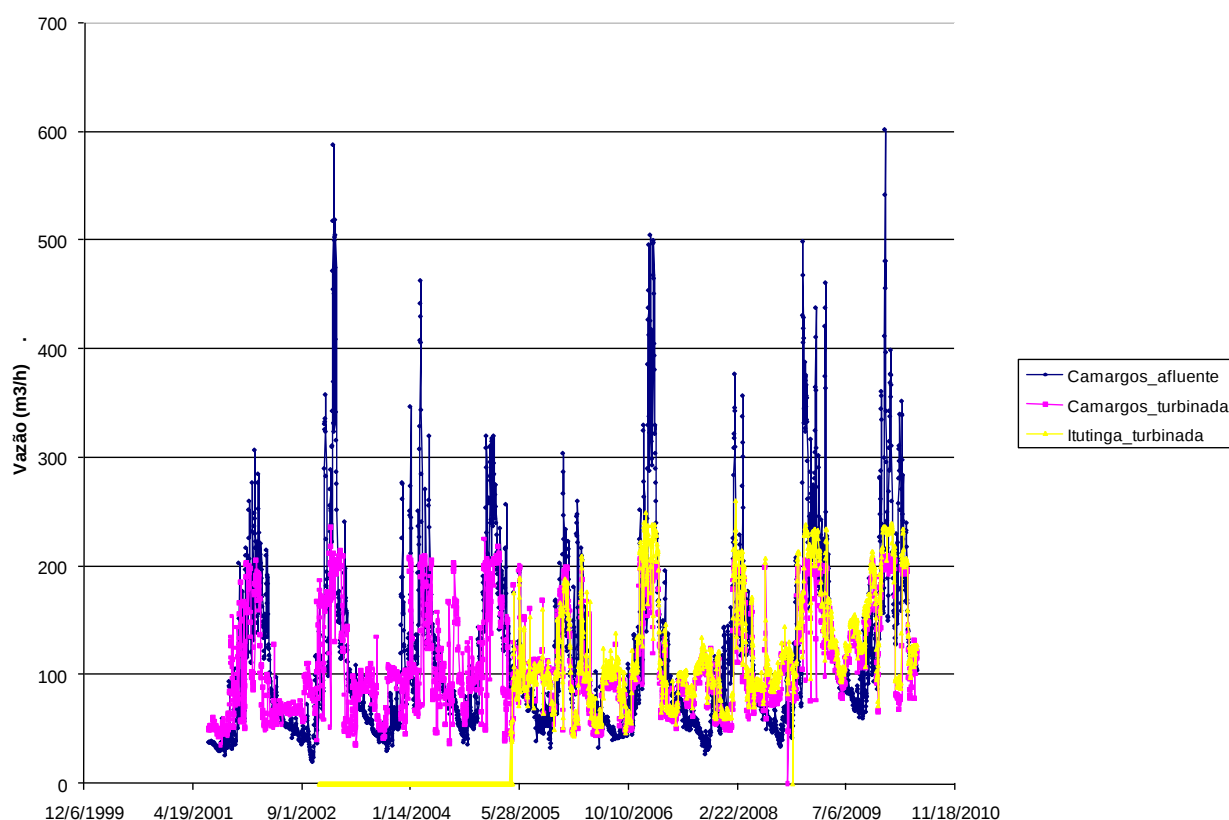


Figura 6 - Dados históricos de vazão afluente e turbinada em Itutinga e Camargos, bacia do Rio Grande (MG).

As primeiras análises de custo mostraram que a determinação do custo da vazão ecológica envolve a energia assegurada (definida como aquela que deverá ser fornecida por um empreendedor para cumprimento dos contratos de suprimento de energia e cujo cálculo é realizado através de modelos matemáticos de análise de série temporais, ANEEL, 2005) e PLD (Preço de Liquidação da Diferença). Esse preço tem variação semanal e regional e considera os custos de operação e a necessidade de geração por usinas térmicas, que tornam o preço mais alto em épocas de menor disponibilidade hídrica.

Desta forma, considerando-se o valor médio do PLD (Figura 7), para cada mês desde maio de 2003, foram calculados custos de vazão ecológica.

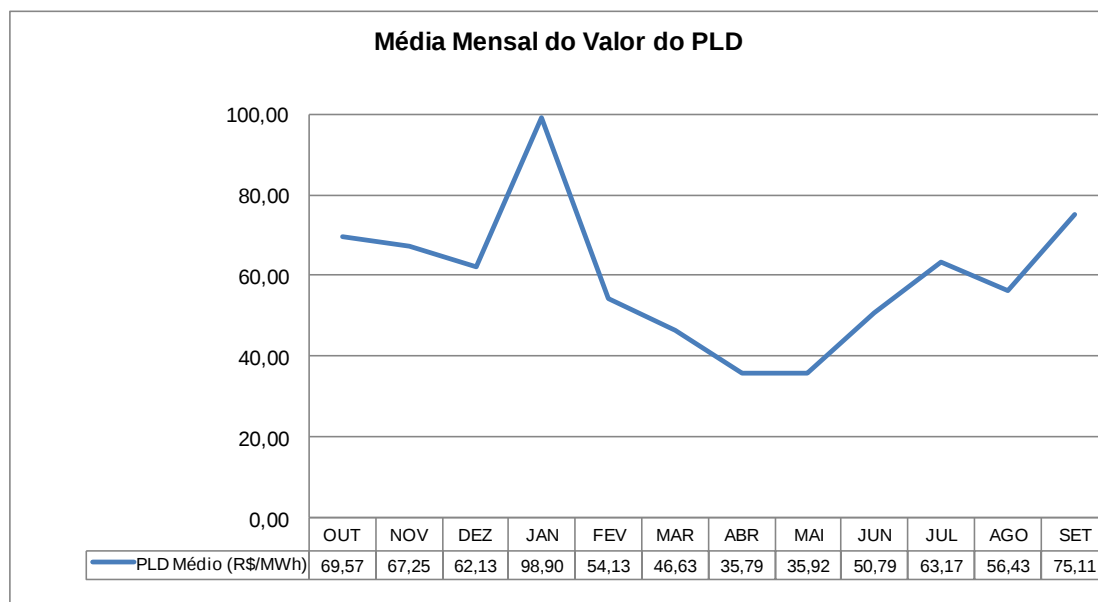
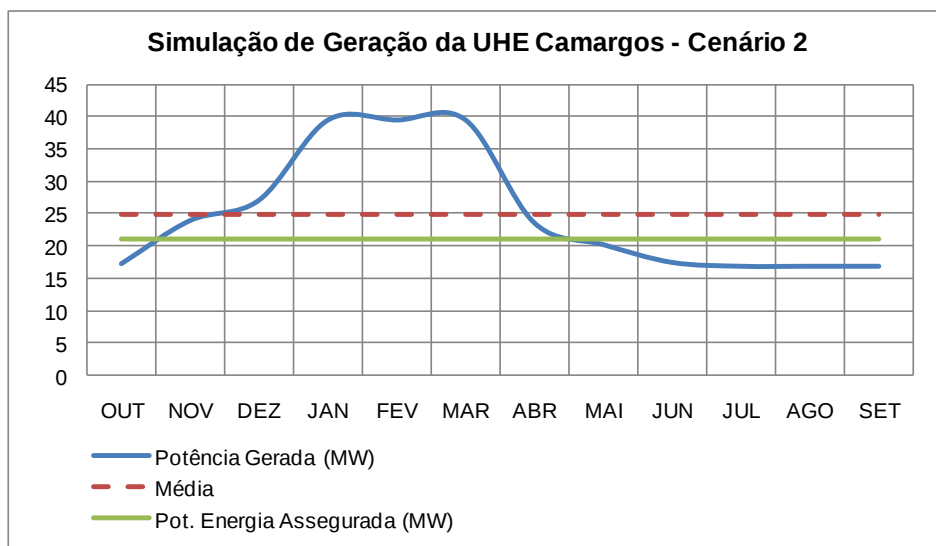
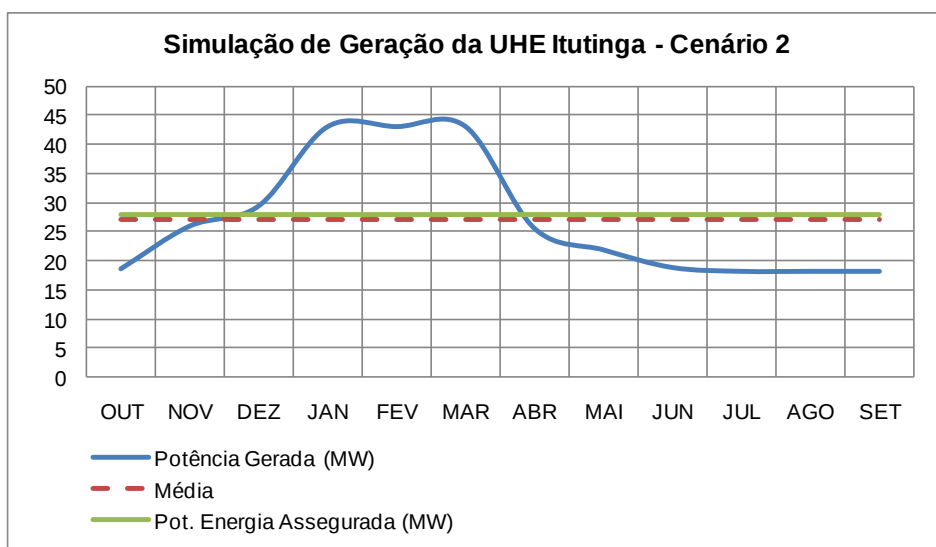


Figura 7 – Média mensal do valor do PLD

Considerando um padrão hidrológico mediano (com precipitações entre padrão úmido e seco), verifica-se que o complexo Itutinga - Camargos consegue gerar acima da energia assegurada durante os meses de janeiro a março (Figura. 8). Assim, considerando a compra de energia no período de menor geração, e a venda da energia excedente, no período chuvoso, de maior geração, foi possível verificar que o impacto seria positivo para o estudo conjunto, resultando em um faturamento de R\$ 1.891 milhão, principalmente devido à geração em Camargos.



(a)



(b)

Figura 8 – Simulação de Geração da (a) UHE Camargos e (b) UHE Itutinga no Cenário Mediano.

Entretanto, é importante ressaltar que verificações operativas do reservatório devem ser realizadas, pois o não acúmulo de água em determinado ano pode acarretar consequências de geração no ano seguinte, principalmente se este apresentar pouca precipitação, caracterizando-se como um ano seco.

DISCUSSÃO

Uma primeira abordagem no estudo de parametrizações de vazões ecológicas foi a restrição à quantidade de água que poderia ser retirada de um rio, especificamente a vazão mínima que deveria permanecer no rio depois de garantidas todas as demandas de água para uso humano. Desta forma, buscava-se evitar que o rio secasse durante períodos de estiagem e que a vazão remanescente garantisse qualidade de água para evitar mortandades de peixes e extinções de espécies. Este método é conhecido como Tennant, ou Montana, e indica a porcentagem de vazão necessária para garantir habitats e qualidade ambiental para a conservação da ictiofauna (Benneti *et al.*, 2003). Em nosso estudo buscamos relacionar métodos hidráulicos com características e necessidades das comunidades de macroinvertebrados bentônicos e peixes. Desta forma, os aspectos ecológicos complementam a abordagem de métodos hidrológicos, ajustados à região específica do empreendimento estudado, conforme salientado por Collishonn *et al.* (2005). Os nossos experimentos, conduzidos a jusante do barramento hidrelétrico, não foram baseados apenas em vazões mínimas, mas sim, em diferentes aspectos do regime hidrológico, fundamentais para a manutenção dos ecossistemas aquáticos, seus habitats e comunidades biológicas. Além de avaliar a variabilidade sazonal nos períodos de chuvas e seca, nossos resultados apontam também variações de riqueza, biomassa e diversidade biológica devido à variabilidade provocada pela operação das turbinas. Nos experimentos conduzidos, procuramos simular ciclos curtos, atendendo à demanda por energia nos horários de pico, conciliando os interesses antrópicos e a necessária conservação da biota aquática. A caracterização dos habitats fluviais através de parâmetros físicos e químicos de coluna d'água e sedimento foram elementos fundamentais para entender as condições em que vivem os organismos aquáticos, corroborando as recomendações de Poff *et al.* (1997). Assim, foram avaliados diferentes componentes do regime hidrológico e sua importância na manutenção dos habitats aquáticos e comunidades, incluindo situações de estiagens, cheias, além do tempo e período de ocorrência, nas vazões empregadas nos dois experimentos. As espécies de organismos aquáticos são adaptadas às flutuações de nível d'água que ocorrem durante as cheias, respondendo às modificações hidráulicas nos rios, movendo-se ou migrando para montante ou jusante.

Na bacia do Rio São Francisco, o Comitê de Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (CBHSF) inseriu em seu Plano Diretor o conceito de vazão ambiental (CBHSF, 2004). O Plano estabeleceu que estudos deveriam ser realizados para a definição da vazão ambiental na foz do rio São Francisco. Em uma primeira abordagem financiada pelo Programa CT-HIDRO/CNPq esboços de hidrogramas foram construídos e estão em discussão na agenda atual do CBHSF. Os estudos evidenciaram uma perda significativa de espécies de peixes na região do baixo São Francisco (Santos *et al.*, 2009). Situação intermediária foi evidenciada no próprio rio São Francisco a jusante

da UHE Três Marias, que regula parte das flutuações naturais (Pompeu e Godinho 2006). A presença de afluentes de grande porte a jusante desta barragem (por exemplo os rios das Velhas e Paracatu) nos permite considerar que os pulsos de inundação ainda ocorrem, mas em magnitude e frequência mais baixas. No rio das Velhas, onde o controle existente em função de PCHs é ainda pequeno, os pulsos de inundação são extremamente próximos ao natural, o que proporciona o funcionamento de lagoas marginais e várzeas como áreas de crescimento inicial de ovos e larvas. Esse processo assegurado se faz refletir na maior riqueza de espécies de peixes deste trecho de montante da bacia (Alves e Pompeu, 2008), em comparação com os trechos médio e baixo.

A qualidade ambiental de um rio e dos ecossistemas associados é fortemente dependente do regime hidrológico, incluindo a magnitude das vazões mínimas, a magnitude das vazões máximas, o tempo de duração das estiagens, o tempo de ocorrência das cheias, a frequência das cheias, a época de ocorrência dos eventos de cheias e estiagens. A vazão ambiental em grandes rios, com utilização intensa de barragens para produção de energia elétrica, expressa em hidrogramas é um conceito chave para a gestão de bacias hidrográficas dentro de uma perspectiva ecossistêmica. A metodologia holística permite a definição da vazão ambiental considerando todos os atores interessados na gestão e revitalização de bacias. Assim o interesse do setor elétrico, dos pescadores e ribeirinhos, do poder público e das comunidades interessadas no abastecimento e lazer podem ser contemplados e traduzidos em hidrogramas (Collischonn *et al.*, 2005). Acreditamos que esta abordagem integradora e ecossistêmica seja uma metodologia adaptativa, necessitando de aprimoramentos ao longo do tempo, o que viabilizará aprofundamento de conhecimento das relações entre o regime hidrológico e as comunidades biológicas, seus habitats e ecossistemas aquáticos, subsidiando a proposição de medidas de manejo em bacias hidrográficas. A colaboração com comitês de bacia, bases teóricas claras e experimentos de manejo a jusante de barramentos hidrelétricos são portanto ferramentas poderosas na busca de parametrizações de vazões ecológicas. A represa da UHE de Itutinga constitui-se, há décadas, um modelo para estudos de represas de pequeno porte, em função de suas características físicas, biológicas e morfométricas, aliadas ao estado atual do conhecimento de sua ictiofauna e limnologia (Alves *et al.*, 1998).

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento ANEEL-CEMIG, o apoio da equipe técnica da CEMIG que atua nos empreendimentos Itutinga e Camargos, o apoio das agências de fomento FAPEMIG, CNPq, CAPES e a gestão FUNDEP.

BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2005). *Energia Assegurada*, Cadernos Temáticos da ANEEL, Brasília, 18 p.

ALVES, C.B.M.; GODINHO, A.L.; GODINHO, H.P.; TORQUATO, V.C. (1998). “A ictiofauna da represa de Itutinga, Rio Grande (Minas Gerais – Brasil). *Revista Brasileira de Biologia* 58, pp 121-129.

ALVES, C.B.M.; POMPEU, P. dos S. (2008). “A ictiofauna da bacia do rio das Velhas como indicador da qualidade ambiental.” Org por Lisboa, A. H.; Goulart, E. M. E. & Diniz, L. F. M.. Projeto Manuelzão: a história da mobilização que começou em torno de um rio. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, pp. 95-106.

ANDERSON, E.P.; ENCALADA, A.C.; MALDONADO-OCAMPO, J.A.; MCCLAIN, M.E.; ORTEGA, H.; WILCOX, B.P. (2011). “*Environmental Flows: a concept for addressing effects of river alterations and climate change in the Andes*”. Org por Herzog, S.; Martinez, R.; Jorgensen, P.M. & Siessen, H. Climate change and biodiversity in the tropical Andes. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), 348pp.

ANDERSON, E.P.; PRINGLE, C.M.; ROJAS, M. (2006). “*Transforming tropical rivers: an environmental perspective on hydropower development in Costa Rica*”. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16, pp. 679-693.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. (2003). “*Current practices for establishing environmental flows in Brazil*.” *River research and applications* 19, pp. 1-18.

BRASIL. (2010) “*Resolução nº 422 de 23 de março de 2010 do Conselho Nacional do Meio Ambiente*.” Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=622>. Acesso em: 12 de junho de 2010.

CALLISTO, M.; MORENO, P. (2005). “*Indicadores ecológicos: a vida na lama*.” *Ciência Hoje* 36(213), pp. 68-71.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S.G.; FREITAS, G.K.; PRIANT, G.R.; TASSI, R.; SOUZA, C.F. (2005) “*Em busca do Hidrograma Ecológico*” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa (PB).

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. “*Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*” pp121 Disponível em: <http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/arquivos.aspx#plano>. Acesso em: 14 de junho de 2011

CRAIG, J. F. (2000) “*Large dams and freshwater fish biodiversity*”. Contributing paper prepared for Thematic Review II.1: Dams, ecosystem functions and environmental restoration – World Commission on Dams. 59 pp.

FERREIRA, W. R.; PAIVA, L. T.; CALLISTO, M. (2011). “*Development of a benthic multimetric index for biomonitoring of a neotropical watershed.*” Braz. J. Biology 1, pp. 15-25.

HARME, R.E. (2003). “*A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers.*” River Research and Applications 19, pp. 397-441.

MEDEIROS, Y. (2007) “*Vazão Ecológica. Base para negociação da alocação de água do rio São Francisco.*” In Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo.

POFF, N.L.; ALLAN, J.D.; BAIN, M.B.; KARR, J.R.; PRESTEGAARD, K.L.; RICHTER, B.D.; SPARKS, R.E.; STROMBERG, J.C.. (1997). “*The natural flow regime.*” BioScience 47, pp. 769-784.

POFF, N.L.; RICHTER, B.D.; ARTHINGTON, A.H.; BUNN, S.E.; NAIMAN, R.J.; KENDY, E.; ACREMAN, M.; APSE, C.; BLEDSOE, B.P.; FREEMAN, M.C.; HENRIKSEN, J.; JACOBSON, R.B.; KENNEN, J.G.; MERRITT, D.M.; O’KEEFFE, J.H.; OLDEN, J.D.; RODGERS, K.; THARME, R.E.; WARNER, A. (2010). “*The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards.*” Freshwater Biology 55, pp. 147-170.

POMPEU, P. S.; GODINHO, H. P. (2006). *“Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil”*. Neotropical Ichthyology 4, pp. 427-433.

SANTOS, M.L.; POMPEU, P.S.; ALVES, C.B.M.; SANTOS, H.A.; OKUMA, D.K.L. (2009). *“Evaluation of ictiofauna diversity loss due to flow regulation in the lower course of the São Francisco River (Brazil)”* In Anais do 7th International Symposium on Ecohydraulics. Concepcion: Universidad de Concepcion, 10 p.