



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GIA/23
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO -XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE TÉCNICA DE ECOSSONDAGEM PARA ESTUDO DE PEIXES A JUSANTE E MONTANTE DE USINAS HIDRELÉTRICAS VISANDO MITIGAÇÃO DE IMPACTO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Raquel Coelho Loures Fontes*
Cemig GT

Ivo Gavião Prado
UFLA

Paulo dos Santos Pompeu
UFLA

RESUMO

O conhecimento sobre a ictiofauna a montante e a jusante de hidrelétricas pode subsidiar medidas mitigadoras de impactos da implantação e operação sobre os peixes. Usando a ecossondagem, para buscar este conhecimento na Usina Hidrelétrica de Três Marias, foi possível determinar os períodos de maior risco de morte de peixes por passagem pelas turbinas e realização de manobras, assim como sugerir período para abertura do vertedouro que possibilitariam a passagem de peixes de montante para jusante. A ecossondagem se mostrou adequada para amostrar peixes próximos a barragens, contudo, realizar coleta de dados biológicos pode corroborar as informações obtidas pela hidroacústicas.

PALAVRAS-CHAVE

Ecossonda, hidroacústica, morte de peixes, operação usina, comportamento

1.0 - INTRODUÇÃO

O barramento de rios causa profundas modificações no ambiente aquático e nas comunidades aí presentes (Sale, 1985). O novo ambiente, formado após o barramento, apresenta características muito diferentes do original e as comunidades distinguem-se significativamente daquelas que ocorriam nos trechos lóticos originais ou remanescentes. Assim, o resultado inevitável destes empreendimentos, em relação à fauna aquática, é a alteração na abundância e riqueza de espécies, com proliferação de algumas e redução ou mesmo eliminação de outras (Agostinho, 1994).

A magnitude dos impactos de barramentos sobre a comunidade de peixes varia em função das características da fauna local, das características da obra (localização da barragem em relação à área de distribuição das populações, área do reservatório, altura do barramento, etc.), da morfometria da bacia (padrões de circulação, profundidade, área), da existência de outras barragens a montante e a jusante e dos procedimentos operacionais dos empreendimentos instalados na bacia (Agostinho, 1994; Power *et al.* 1996). Em alguns casos, são frequentes os problemas relacionados ao acúmulo de cardumes imediatamente a jusante de barragens, especialmente de espécies migradoras, implicando em risco de mortandades quando para parada de máquinas para operação. Por outro lado, peixes também podem se acumular no reservatório, próximo à barragem, à procura de passagem segura para as áreas de jusante.

O conhecimento sobre a ictiofauna da área de influência de hidrelétricas pode subsidiar medidas para redução dos impactos por elas causados (Loures, 2009). Existem diversos métodos para se realizar esses estudos. Alguns dependem da captura dos peixes, como redes de emalhar e telemetria. Em outros, como observação visual, e

hidroacústica, a captura não é necessária (Lucas & Baras, 2000). A avaliação hidroacústica ou ecossondagem consiste na utilização do som para detectar organismos na coluna d'água (Brandt, 1996). Em sistemas aquáticos esta técnica está sendo cada vez mais utilizada para aquisição de informações, desde batimetria e classificação de substratos a abundância e distribuição da biota, incluindo macrófitas, zooplâncton e particularmente, peixes (Brandt, 1996; Simmonds & MacLennan, 2005). No Brasil, a hidroacústica ainda é insipiente, sendo a maioria das publicações relacionadas a estudos em ambientes marinhos (ver Krumme, 2004; Sumida *et al.*, 2004; Madureira *et al.*, 2005; Cooke *et al.*, 2007) mas seu uso em água doce vem aumentando para avaliar estoques pesqueiros e heterogeneidade espacial na distribuição de peixes (Brandt, 1996).

Esta técnica apresenta vantagens sobre muitas outras pelo fato de não ser intrusiva e conseguir amostrar praticamente toda a coluna d'água rapidamente, fornecendo informações de densidade, distribuição e tamanho dos organismos detectados (Simmonds & MacLennan, 2005; Parker-Stetter *et al.*, 2009). Porém, a proporção da coluna d'água passível de amostragem decresce em locais mais rasos. Em ambientes com presença de ruídos e entrada de ar com formação de bolhas na água, uma análise clara do sinal pode ficar prejudicada, em geral, restringindo sua aplicação em água doce a lagos e áreas de rios não turbulentas (Lucas & Baras, 2000). Assim, sua utilização próxima a usinas hidrelétricas muitas vezes se restringe a reservatórios (Kubecka & Duncan, 1994; Colla *et al.*, 2007) e estudos de passagem de peixes de montante para a jusante, comuns na América do Norte (Steig & Iverson, 1998; Spinelli, 2010). Poucos estudos utilizaram ecossonda imediatamente à jusante de usinas (Oldani *et al.*, 2001; Cornish *et al.*, 2006) e há relato de limitação metodológica neste tipo de ambiente devido à interferência por turbulência e bolhas no sinal acústico (Oldani & Baigún, 2002).

Assim, este estudo teve como objetivo verificar as variações temporais e espaciais na abundância, densidade e distribuição de peixes no canal de fuga e no reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias, por meio da ecossondagem. E a partir dos resultados encontrados propor medidas que minimizem problemas relacionados à morte de peixes em turbinas e ao bloqueio da livre movimentação de peixes na região, imposto pelo barramento

2.0 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Usina Hidrelétrica de Três Marias – UHETM está situada no rio São Francisco (18°12'47.67"S e 45°15'44.94"O), no município de Três Marias, região Central de Minas Gerais (Figura 1). A barragem de 75m de altura e 2.700m de comprimento foi inaugurada em 1961 e em julho de 1962 a usina entrou em operação. A potência instalada é de 396 MW, com seis unidades geradoras de 66MW de potência cada, queda nominal de 46,1m, turbina do tipo Kaplan com engolimento de até 150m³/s. O vertedouro é do tipo superfície controlada, com 7 comportas de capacidade máxima total de 8.700m³/s (Cemig, 2006). O rio, neste trecho está submetido ao controle hidrológico da usina. A água turbinada é captada no hipolímnio do reservatório (50 – 60m de profundidade) e por isso apresenta menores valores de temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. A temperatura da água do rio à jusante da usina pode variar de 22,3 a 26,3°C, enquanto o oxigênio dissolvido pode oscilar entre 2,2mg/L, no verão, a 7,6mg/L, no inverno (Loures & Pompeu, 2012). A turbidez é mais baixa durante os períodos de estiagem e mais elevada nos períodos de maior precipitação, variando de 0 a 1000 UNT (Sampaio & López 2003). O regime histórico de chuvas e vazão à jusante da usina nos últimos dez anos (mar/2001 a mar/2011) mostra a regularidade da vazão ao longo do tempo e duas estações bem definidas: estação chuvosa (outubro a março) e estação seca (abril a setembro). O reservatório da UHETM é do tipo monomítico quente (Esteves *et al.*, 1985), apresentando estratificação térmica durante o verão. Em cota máxima, sua área de inundação é de 1.050 km² e o volume de 21 x 10⁹ m³ de água. Profundidades em nível máximo vão além de 60 metros próximo à tomada d'água (Sampaio & Lopes, 2003) e 18 metros próximo à região do vertedouro. Vertimentos são comuns durante o período chuvoso.



FIGURA 1 – Imagem aérea da Usina Hidrelétrica de Três Marias. A área onde o estudo foi realizado a jusante está indicada pela seta sólida e a montante pela seta hachurada (Foto: Francisco de Andrade)

Montante

A área amostrada no reservatório da UHETM foi imediatamente a montante das comportas do vertedouro e da tomada d'água. Na região próxima ao vertedouro e tomada d'água foram feitos quatro e oito transectos paralelos, respectivamente (Figura 2). O desenho amostral e as configurações para aquisição dos dados foram baseados em Simmonds & MacLennan (2005).

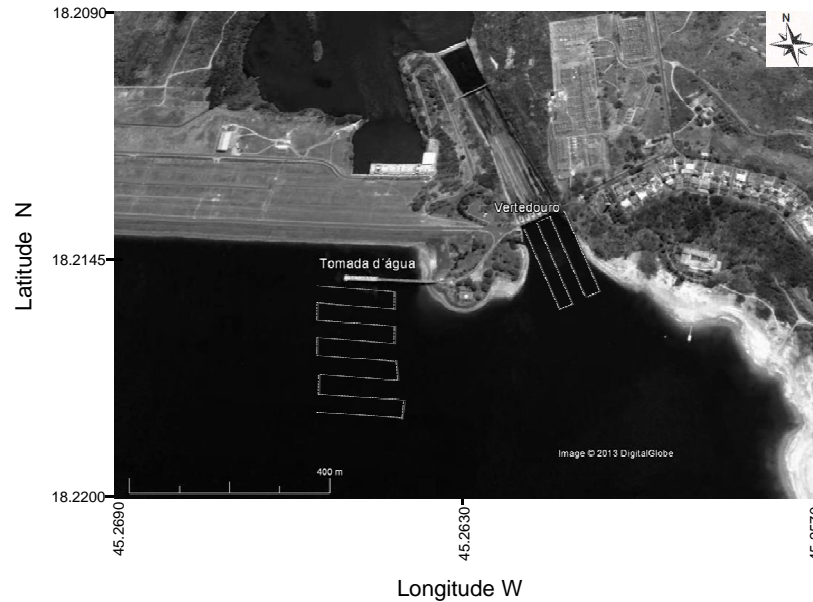


FIGURA 2 – Imagem de satélite do reservatório da UHE Três Marias. As linhas correspondem aos transectos realizados próximo ao vertedouro e à tomada d'água (Fonte: Adaptação de imagem do software Google Earth)

Jusante

Foi amostrado o remanso na margem esquerda do canal de fuga da UHETM, pois foi a área mais próxima à saída da água turbinada, em que a aquisição de dados pela ecossonda não sofria interferência por bolhas e turbilhonamento (Figura 1 – seta). Foram realizados três transectos paralelos (Figura 3), com desenho amostral determinado seguindo Simmonds & MacLennan (2005). A seção foi percorrida com embarcação de duralumínio portando os equipamentos, a uma velocidade de aproximadamente 7km/h.

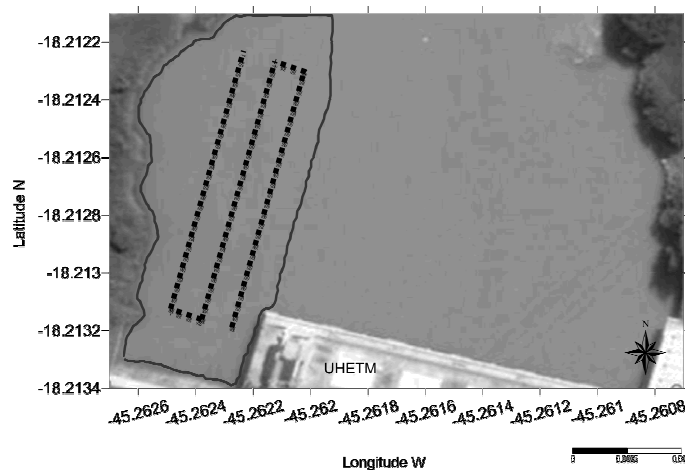


FIGURA 3 – Imagem de satélite do canal de fuga e casa de força da Usina Hidrelétrica de Três Marias (UHETM). Área destacada corresponde ao remanso do canal de fuga, onde foram realizados os transectos, representados esquematicamente pelas linhas pontilhadas (Fonte: Adaptação de imagem do software Google Earth)

2.2 Hidroacústica: ecossondagem

Utilizou-se uma ecossonda, Biosonics Científica Digital DT-X, equipada com um transdutor digital *split beam* 6°, 123 kHz. O transdutor foi posicionado na lateral de um barco duralumínio, cerca de 0,5m abaixo da superfície da água, com o feixe orientado verticalmente para o fundo. O software *Visual Acquisition*, versão 6.0 (Biosonics Inc., 2010) foi utilizado para visualização e registro dos dados acústicos.

A ecossonda foi acoplada diretamente a um sistema de posicionamento global, antena de alta sensibilidade 17X NMEA 0183 HVS Garmin. O equipamento foi calibrado pela BioSonics Inc., em Seattle, Washington, e em campo, a cada coleta de dados, através do uso de uma esfera de carboneto de tungstênio conforme procedimentos internacionais recomendados por Foote *et al.* (1987) e BioSonics Inc. (2004).

Todos os dados hidroacústicos foram processados pelo software Echoview versão 4.9, Myriax. A abundância de peixes na área de estudo, durante as prospecções, foi determinada a partir de duas técnicas: a ecocontagem de traços de peixes e a ecointegração (Simmonds & MacLennan, 2005; Ehrenberg & Torkelson, 1996). Considerando que reflexões acústicas de peixes geralmente variam de -25 a -65dB (Brandt, 1996), o software Echoview foi configurado para proceder à detecção dos ecos individuais (*single targets*), considerando um *Threshold* de -65dB. A partir do algoritmo de detecção de alvos (*target tracking*) de Blackman (1986), utilizado pelo software, os ecos individuais foram combinados em traços de peixes. Para ser considerado um traço foi necessário que mais de três ecos estivessem separados um do outro por não mais que três pings. Quando os peixes se encontram agregados (em cardumes ou camadas), a densidade geralmente é muito alta e os ecos dos indivíduos se sobrepõem tornando difícil e até impossível a separação dos traços de peixes. Neste caso usando a ecointegração procedeu-se a estimativa de densidade, considerando o TS médio dos traços de peixes detectados no respectivo mês e horário, para melhor representação dos peixes presentes na área. O cálculo da densidade por área da agregação e estimativa da abundância a partir da ecointegração (N) foi feito segundo equações em Parker-Stetter *et al.*, 2009.

A montante foram realizadas 18 amostragens, no período de dezembro de 2010 a dezembro de 2011, imediatamente a montante das comportas do vertedouro e da toma d'água. As coletas ocorreram quinzenalmente no período chuvoso e mensalmente no período seco, sendo realizadas em quatro horários com intervalos de seis horas entre cada coleta (às 6, 12, 18 e 24 horas). Já as amostragens a jusante foram mensais de abril a setembro/2010 (período seco) e quinzenais de outubro a março/2011 (período chuvoso), também totalizando 18 campanhas, sendo que as prospecções ocorreram ao longo de 24h em intervalos de quatro horas, nos seguintes horários: 1, 5, 9, 13, 17 e 21h.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ecossondagem a montante da usina

No reservatório, a profundidade média da comunidade de peixes na coluna d'água diferiu significativamente ($p < 0.05$) durante o dia e a noite indicando a ocorrência do fenômeno comportamental chamado Migração Vertical Diária (MVD) (Figura 4). Esse fenômeno caracteriza-se pela presença de peixes próximos à superfície durante a noite e em maiores profundidades durante o dia (Busch & Mehner, 2009). A MVD é bastante estudada em ambientes marinhos e água doce na região temperada (Levy, 1991, Hrabik *et al.*, 2006). No Brasil, a maioria dos estudos realizados avaliou a MVD de invertebrados planctônicos (Bezerra-Neto *et al.*, 2009; Ghidini & Santos-Silva, 2011). Essa movimentação de peixes em águas continentais brasileiras ainda não havia sido observada.

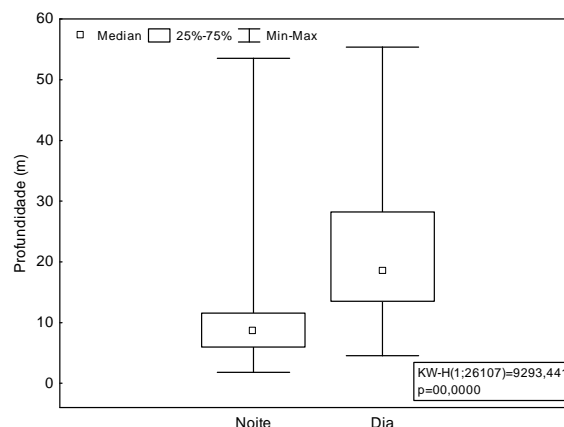
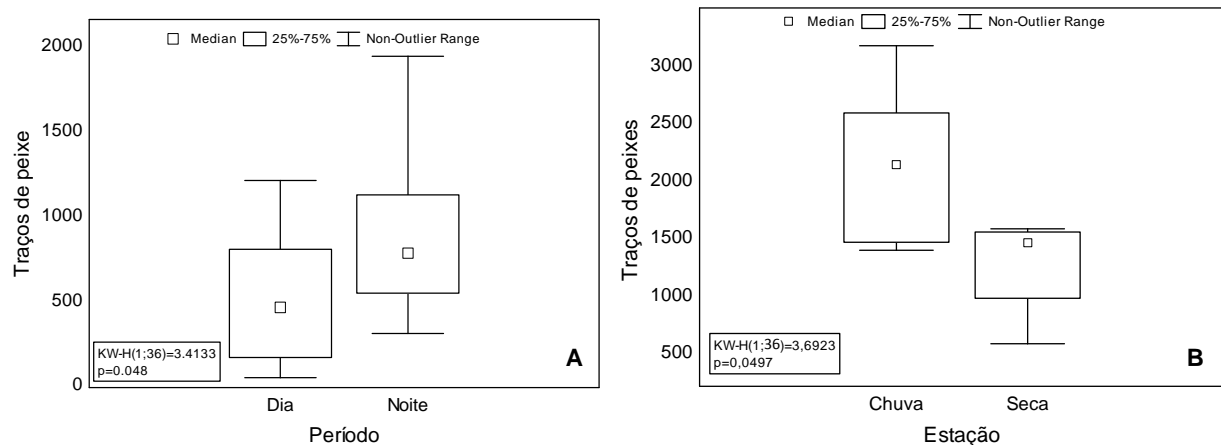


FIGURA 4 – Medianas das profundidades dos traços de peixes durante o dia (transectos das 6 e 12 horas) e a noite (transectos das 18 e 24 horas).

Não foi verificada existência de correlação entre as variáveis limnológicas temperatura, OD e pH com a profundidade dos traços de peixes durante o dia e a noite. A transparência da água foi a única variável relacionada à profundidade dos traços de peixes, mas apenas no período diurno ($r^2=0,73$ e $p<0,01$). Essa relação pode estar relacionada a com processo de predação e fuga da mesma (Stockwell *et al.*, 2010). Em épocas com maior transparência da água, durante o dia, peixes se concentram em maiores profundidades, aumentando o risco de passagem pelas turbinas.

Na região do vertedouro, no período diurno, apenas durante os meses de janeiro, março e maio e junho os peixes estiveram em profundidades menores que máxima observada para a região. Nos outros meses foi verificado pouco, ou nenhum peixe nessa mesma região durante o dia.

Foi observada maior abundância de peixes à noite, ao longo de todo o ano (Figura 5A). Os meses chuvosos apresentaram maior abundância de peixes que os da estação seca (Figura 5B).



A passagem de peixes de montante para jusante é bastante negligenciada, principalmente nos países neotropicais (Pompeu *et al.*, 2012). Uma alternativa para viabilizar essa passagem é a realização de abertura das comportas do vertedouro (Ruggles & Murray, 1983). A maior abundância de peixes no período chuvoso pode ser um indicativo de que um maior sucesso com a abertura do vertedouro pode ser esperado nessa época. Esse período coincide com o período reprodutivo da maioria das espécies da bacia do rio São Francisco (Alves *et al.*, 2011). Como as profundidades máximas na região do vertedouro variaram entre 10 e 18 metros e as médias de profundidade dos traços de peixes ficaram quase sempre abaixo dessas profundidades durante o dia, vertimentos no período diurno teriam pouco ou nenhum sucesso. Dessa forma, vertimentos durante a noite no período chuvoso poderiam possibilitar a na passagem de montante para jusante.

3.2 Ecossondagem a jusante da usina

A quantidade de peixes detectados no canal de fuga variou significativamente entre as estações seca e chuvosa ($p<0,001$; $F=90,42$), dia e noite ($p<0,001$; $F=36,69$) e entre as quatro classes de profundidade ($p<0,001$; $F=28,91$) (Figura 6). Considerando a coluna d' água, na estação seca, observamos que os peixes se encontravam em maior abundância até 10m de profundidade, sendo que a durante a noite houve aumento na quantidade de peixes mais próximos a superfície da água (<5m). Já na estação chuvosa a abundância de peixes foi significativamente superior a da estação seca, com aumento na quantidade de peixes em todas as profundidades, destacando-se o intervalo de 5 a 15m, sem diferenças entre dia e noite. Durante a estação chuvosa percebemos um aumento significativo da abundância de peixes nas camadas mais profundas, quando comparado a estação seca.

A partir da ecointegração foi possível perceber que na estação seca a quantidade de peixes agregados (cardumes) foi inferior à chuvosa (Tabela 1). A batimetria do remanso mostrou que a mediana da profundidade foi igual a 10,1m e que somente 25% da área encontravam-se abaixo de 13,6m e outros 25% acima de 3,3m de profundidade. Observamos uma maior concentração de peixes próximos à parede da casa de força da UHETM, principalmente nos meses da estação seca, enquanto que no período de chuvas os peixes estavam mais dispersos na área.

A abundância de peixes obtida através da ecocontagem foi significativamente diferente entre a estação seca e chuvosa, com aumento no número de peixes de novembro a março. Da mesma forma, pela ecointegração, a densidade de peixes no canal de fuga e a quantidade de agregações (cardumes) aumentaram na estação chuvosa quando comparada a seca. A variação na quantidade de peixes ao longo do ano pode ser um reflexo da sazonalidade encontrada em águas tropicais. Em rios, a sazonalidade é induzida principalmente por mudanças no nível da água (Lowe-McConnell, 1999), embora chuva e temperatura também possam desencadear migração para desova (Parkinson *et al.*, 1999), mesmo em rios barrados (Pompeu & Martinez, 2006). Os meses de maior abundância detectada no canal de fuga coincidem com o período reprodutivo de muitas espécies do São Francisco

(Alves *et al.*, 2011). Desta forma, conciliar a realização de manobras que oferecem mais riscos para os peixes com o período de menor abundância no canal de fuga, ou seja, nos meses de baixa pluviosidade, poderia reduzir o impacto sobre a ictiofauna.

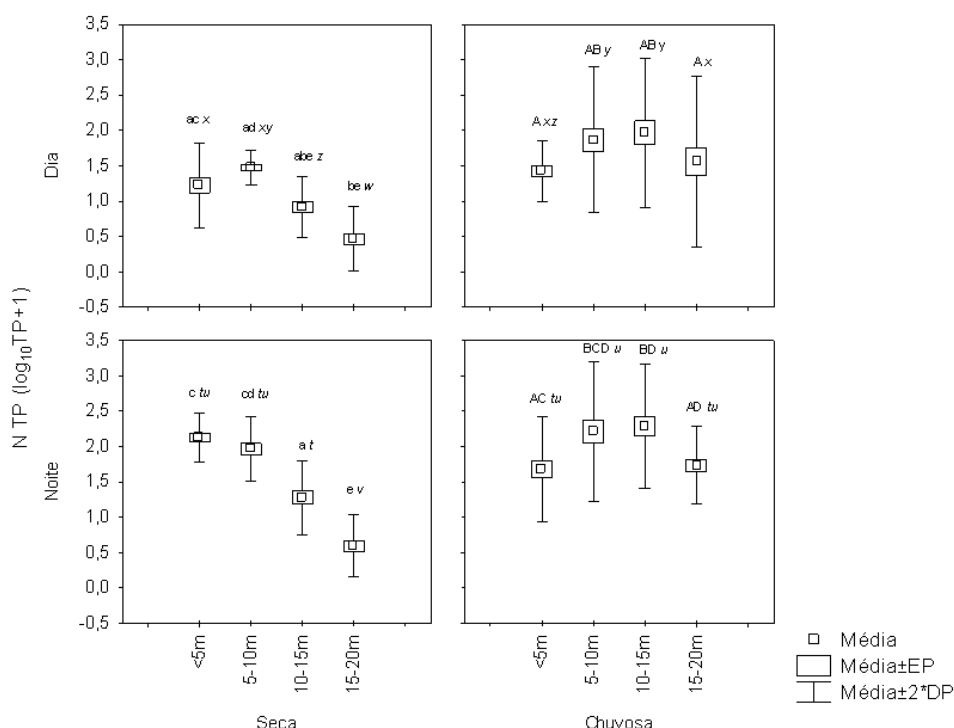


FIGURA 6 – Distribuição do número de peixes (N TP) nas estações seca e chuvosa, nos períodos dia e noite e em quatro classes de profundidade no canal de fuga da Usina Hidrelétrica de Três Marias. EP = erro padrão e DP = desvio padrão. Médias das profundidades seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam dia x noite na estação seca, letras maiúsculas dia x noite na estação chuvosa, letras em itálico comparam entre estações seca x chuvosa durante dia (xyzw) e noite (tuv)

Tabela 1 – Resultados da eointegração provenientes do cálculo de densidade de peixes/m² (ρ_a), considerando a área da agregação. A reflexão acústica média (TS) determinada *in situ* pelos dos traços de peixes (TP) foi utilizada para cálculo da densidade. Sv médio das agregações.

| Estação | Abundância Média | ρ_a | | Sv médio (dB) | Prof. média(m) | TS médio TP (dB) |
|---------|------------------|----------|-------|---------------|----------------|------------------|
| | | Min | Max | | | |
| Seca | 2.781 | 0,01 | 90,74 | -41,74 | 5,8 | -44,49 |
| Chuva | 60.805 | 0,01 | 81,01 | -43,00 | 8,4 | -43,42 |

Durante a noite foram detectados mais peixes no canal de fuga. Estudos nesta mesma área na mesma época, usando redes de emalhar também encontraram uma maior proporção de peixes neste período, sendo que a ordem dos Siluriformes a mais abundante (Loures & Pompeu, 2012). Como as espécies desta ordem apresentam hábitos reconhecidamente noturnos (Burguess, 1989), podemos sugerir que a maior proporção dos peixes insonificados pertenceriam a esta ordem.

Quanto à distribuição dos peixes no remanso do canal de fuga da UHETM, verificou-se que as agregações nos meses de seca se concentraram mais em alguns pontos, enquanto que nos meses de chuva as agregações estavam mais dispersas no remanso. Também foi observada diferença entre as estações quanto à distribuição dos peixes na coluna d'água. Nos meses de seca, a quantidade de peixes diminuiu à medida que aumentava a profundidade, enquanto que nos meses de chuva aumentou a concentração de peixes ocupando o ambiente de 5 a 15m. Foi possível observar que nas áreas mais profundas a densidade de peixes foi maior do que em regiões com menos de 7m de profundidade. Considerando que a batimetria do remanso indicou que 50% da área apresentaram em torno de 10,1m de profundidade, pode-se supor que os peixes estavam ocupando áreas mais próximas ao fundo. Este resultado pode ser mais um indicativo de que a maioria dos peixes insonificados pertenciam a ordem Siluriformes, uma vez que muitas espécies apresentam hábito de fundo, como as mais abundantes na estação chuvosa, *F. marmoratus* e *P. maculatus* (Loures & Pompeu, 2012; Santos *et al.* 2008; Kirchheim & Goular, 2010).

4.0 - CONCLUSÃO

Avaliar e entender os padrões de distribuição e acumulação de peixes imediatamente a montante do barramento pode possibilitar a definição de épocas de maior risco de morte de peixes por passagem pelas turbinas. Esse conhecimento pode ser utilizado na definição e implementação de medidas de mitigação desse impacto. Além disso, formas e métodos para possibilitar o livre trânsito dos peixes da região podem ser sugeridas com base nos resultados observados.

Este trabalho mostrou variações temporais e espaciais na abundância e densidade de peixes no canal de fuga da UHETM, que podem subsidiar medidas de manejo. Considerando a abundância elevada de peixes de novembro a março, recomendamos que a realização de manobras que apresentam risco de morte de peixes sejam evitadas/reduzidas neste período, sendo mais seguro operar de abril a outubro, quando a quantidade de peixes presente no canal de fuga é significativamente menor.

A partir dos resultados encontrados concluímos que a hidroacústica é uma técnica útil para amostrar os peixes tanto a montante como à jusante de barragens desde que a interferência por bolhas e vazão não seja elevada a ponto de impedir a detecção dos ecos. Contudo, a utilização de técnicas alternativas, para coleta de dados biológicos e identificação dos peixes pode corroborar as informações obtidas pela hidroacústica.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOSTINHO, AA. Pesquisas, monitoramento e manejo da fauna aquática em empreendimentos hidrelétricos. In: COMASE; ELETROBRÁS. Seminário sobre Fauna Aquática e o Setor Elétrico Brasileiro. Rio de Janeiro. p.38-58. (Fundamentos, cad. 1). 1994.
- (2) ALVES CBM, VIEIRA F, POMPEU OS. Ictiofauna da bacia hidrográfica do rio São Francisco. In: Ministério do Meio Ambiente. (Org.). Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp 226-241. 2011.
- (3) BEZERRA-NETO JF, MELLO N, MAIA-BARBOSA PM, PINTO-COELHO RM. The role of predation in the diel vertical migration of zooplankton in two tropical freshwater ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia* 21: 45-56. 2009.
- (4) BIOSONICS INC. Calibration of BioSonics Digital Scientific Echosounder using T/C calibration spheres. BioSonics, Inc. Seattle, Washington. 11p. 2004.
- (5) BLACKMAN SS. Multiple-target tracking with radar applications. Norwood, Massachusetts, Artech House Inc. 464 p. 1986.
- (6) BRANDT SB. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In: Murphy, R. B & D.W Willis (Eds). *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society. 732p. 1996.
- (7) BURGUESS WE. An atlas of freshwater and marine catfishes. Neptune City, TFH, 785p. 1989
- (8) BUSCH S, MEHNER T. Hydroacoustic estimates of fish population depths and densities at increasingly longer time scales. *International Review of Hydrobiology* 94(1): 91-102. 2009.
- (9) CEMIG. Usinas da Cemig: 1952-2005, a história da eletricidade em Minas e no Brasil. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, Rio de Janeiro, 304p. 2006.
- (10) COLLA, C. et al. Use and limits of three methods for assessing fish size spectra and fish abundance in two tropical man-made lakes. *Fisheries Research*, v.83, p.306–318. 2007.
- (11) COOKE, C.V.; MADUREIRA, L.A.S.P.; GRIEP, G.H.; PINHO, M.P. Análise de dados de ecosondagem de fundo oriundos de cruzeiros realizados entre Fortaleza (CE) e Chuí (RS) com enfoque na morfologia e tipos de fundo. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, n.4, p.443-457, 2007.
- (12) CORNISH, M.A.; ALLEN, T.C.; JOHNSON, B.L.; CASWELL, N.M.; SIMMONDS JR., R.L. Hydroacoustic identification and sampling of fish aggregations in tailwater areas. Technical report for the upper Mississippi River – Illinois Waterway navigation and ecosystem restoration program. US Army Corps of Engineers. 27p, 2006.
- (13) EHRENBERG JE, TORKELSON TC. Application of dual-beam and split-beam target tracking in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science* 53: 329-334.1996.
- (14) ESTEVES FA, AMORIM JC, CARDOSO EL, BARBOSA FAR. Caracterização limnológica preliminar da Represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Ciência e Cultura* 37(4): 608-617. 1985.
- (15) FOOTE KG, KNUDSEN HP, VESTNES G, MACLENNAN DN, SIMMONDS EJ. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. Cooperative Research Report, International Council for Exploration of the Sea. 144,179p. 1987.
- (16) GHIDINI AR, SANTOS-SILVA EN. Composition, species richness and patterns of nycthemeral vertical distribution of planktonic cladocerans in a black water Amazonian lake. *Nauplius* 18: 101-119. 2012.
- (17) HRABIK TR, JENSEN OP, MARTELL SJD, WALTERS CJ, KITCHELL JF. Diel vertical migration in the Lake Superior pelagic community. I. Changes in vertical migration of coregonids in response to varying predation risk. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63(10): 2286-2295. 2006.

- (18) KIRCHHEIM PD, GOULART E. Ecomorfologia de predação e antipredação em Siluriformes (Osteichthyes). *Oecologia Australis* 14(2): 550-568. 2010.
- (19) KRUMME U. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. *Fisheries Research*, v.70, p.1-15, 2004.
- (20) KUBECKA, J.; DUNCAN, A. Low fish predation pressure in the London reservoirs: species composition, density, and biomass. *International Review of Hydrobiology* v.79, p.143–155, 1994.
- (21) LEVY DA. Acoustic analysis of diel vertical migration behavior of *Mysis relicta* and kokanee (*Oncorhynchus nerka*) within Okanagan Lake, British -Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48: 67–72. 1991.
- (22) LOURES, R.C.F. A compatibilização da operação de usinas com a ictiofauna. *Ação Ambiental*, v.12, n.41, p.24 -28, 2009.
- (23) LOURES, RCLF. Avaliação temporal e espacial da comunidade de peixes no canal de fuga da usina hidrelétrica de Três Marias, Rio São Francisco MG. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras, 11 de junho de 2011.
- (24) LOURES, RC; POMPEU, PS. Temporal variation in fish community in the tailrace at Três Marias Hydroelectric Dam, São Francisco River, Brazil. *Neotrop. ichthyol.*, 10(4). 2012
- (25) LOWE-MCCONNELL RH. Ecologia de Comunidades de Peixes Tropicais. EDUSP, São Paulo, SP. 535p. 1999.
- (26) LUCAS, M.C.; BARAS, E. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries*, v.1, p.283-316, 2000.
- (27) MACLENNAN DN, SIMMONDS EJ. Fisheries Acoustics, Chapman_Hall, Appendix A: Calculation of the absorption coefficient, pp.42. 1992.
- (28) MADUREIRA, L.S.P. *et al.* Identification of acoustic records of the Argentinian *Calamar Illex argentinus* along the outer shelf and shelf break of the South and Southeast coast of Brazil. *Fisheries Research*, v.73, p.251-257, 2005.
- (29) OLDANI, N.; MINOTTI, P.; RODRIGUEZ, R.; DELFINO, R.; BAIGÚN, C. Incidencia de factores ambientales en la abundancia y distribución de peces del río Paraná y su relación con los sistemas de transferencia de la represa de Yacyretá. *Natura Neotropicalis*, v.32, n.1, p.41-48, 2001.
- (30) PARKER-STETTER, SL.; RUDSTAM, LG.; SULLIVAN, PJ.; WARNER, DM. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes. *Great Lakes Fish. Comm. Spec. Pub.*, 180p, 2009.
- (31) PARKINSON D, PHILIPPART J, BARAS E. A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology* 55: 172–182. 1999.
- (32) POMPEU PS, MARTINEZ CB. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro. *Revista Brasileira de Zoologia* 23(2):340-349. 2006.
- (33) POMPEU PS, AGOSTINHO AA, PELICICE FM. Existing and Future Challenges: The Concept of Successful Fish Passage in South America. *River Research and Applications* 28(4): 504-512. 2012.
- (34) POWER, M., EDIETRICH., WE., & FINLAY JC.. Dams and downstream aquatic biodiversity: potential food web consequences of hydrologic and geomorphic change. *Envir. Manag.* 20: 887-895. 1996.
- (35) RUGGLES CP, MURRAY DGA. Review of Fish Response to Spillways. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n 1172. 31 p. 1983.
- (36) SALE, M.J. Aquatic ecosystem response to flow modification: an overview of the issues, p. 25-31. In: F.W. OLSON (Ed.). *Proceedings of the symposium on small hydropower and fisheries*. Bethesda, American Fisheries Society, 497p. 1985.
- (37) SAMPAIO EV, LÓPEZ CM . Limnologias física, química e biológica da represa de Três Marias e do São Francisco. In: Godinho HP, Godinho AL (eds) *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. PUC Minas, Belo Horizonte, pp 71–92. 2003.
- (38) SANTOS HA, POMPEU PS, VICENTINI GS, MARTINEZ CB. Swimming performance of the freshwater neotropical fish: *Pimelodus maculatus* Lacepède, 1803. *Braz. J. Biol.* 68(2): 433-439. 2008.
- (39) SIMMONDS, EJ.; MACLENNAN, DN. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*, 2aed. Blackwell, Oxford, 413p., 2005.
- (40) SPINELLI, J.P. Spatial and temporal entrainment of fish from Hauser reservoir, Montana. Thesis for the degree of master in Science in Fish and Wildlife Management Montana State University, Bozeman, Montana, 121p, 2010.
- (41) STEIG, T.W.; IVERSON, T.K. Acoustic monitoring of salmonid density, target strength, and trajectories at two dams on the Columbia River, using a split-beam scanning system. *Fisheries Research*, v.35, p.43–53, 1998.
- (42) STOCKWELL JD, HRABIK TR, JENSEN OP, YULE DL, BALGE M. Empirical evaluation of predator-driven diel vertical migration in Lake Superior. *Can Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67:473-485. 2010.
- (43) SUMIDA, PYG.; YOSHINAGA, MY.; MADUREIRA, LASP.; HOVLAND, M. Seabed pockmarks associated with deepwater corals off SE Brazilian continental slope, Santos Basin. *Marine Geology*, v.207, p.159-167, 2004.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Raquel Coelho Loures Fontes (Belo Horizonte, 1983)

Analista de Meio Ambiente. Possui graduação em Ciências Biológicas, licenciada (2004) e bacharel em Ecologia (2006) pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Mestre em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Analista de Meio Ambiente desde 2006 na CEMIG Geração e Transmissão, coordenadora do Programa Peixe Vivo, atuando principalmente nas áreas de ecologia e manejo de peixes de água doce, com ênfase em impactos de hidrelétricas e monitoramento da ictiofauna. Possui experiência em ecossondagem.

Ivo Gavião Prado (Belo Horizonte, 1986)

Possui graduação em Ciências Biológicas com ênfase em Gestão Ambiental pela PUC Minas e mestrado em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras. Atualmente trabalha no Programa Peixe Vivo – CEMIG em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais, atuando no projeto "Avaliação do risco e morte de peixes em usinas da CEMIG." Tem experiência em hidroacústica, gestão ambiental, impactos de hidrelétricas, ecologia e conservação de peixes de água doce.

Paulo dos Santos Pompeu (Belo Horizonte, 1973)

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (1994), mestrado em Ecologia (Conservação e Manejo da Vida Silvestre) pela Universidade Federal de Minas Gerais (1997) e doutorado em Meio Ambiente Saneamento e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (2005). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Lavras, coordenando o curso de pós-graduação em Ecologia Aplicada. Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia Aplicada à Conservação de Ambientes Aquáticos, atuando principalmente nos seguintes temas: ecologia de peixes, impacto ambiental, usinas hidrelétricas, vazões ecológicas e recursos hídricos.