



IVO GAVIÃO PRADO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE
PEIXES À MONTANTE DA BARRAGEM DA
UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA A
CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA**

LAVRAS – MG

2012

IVO GAVIÃO PRADO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES À MONTANTE DA
BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA A
CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

LAVRAS, MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Prado, Ivo Gavião.

Avaliação do comportamento de peixes à montante da barragem da UHE Três Marias como subsídio para a conservação da ictiofauna / Ivo Gavião Prado. – Lavras: UFLA, 2012.

91 p.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Paulo dos Santos Pompeu.

Bibliografia.

1. Hidroacústica. 2. Migração Vertical Diária. 3. Passagem de peixes. 4. Impacto de barragens. 5. Distribuição. 6. Ecologia aquática. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 574.52632

IVO GAVIÃO PRADO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE PEIXES À MONTANTE DA
BARRAGEM DA UHE TRÊS MARIAS COMO SUBSÍDIO PARA A
CONSERVAÇÃO DA ICTIOFAUNA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, área de concentração em Ecologia e Conservação de Paisagens Fragmentadas e Agrossistemas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de abril de 2012.

Dr. Fernando Mayer Pelicice UFTO

Dr. Luis Gustavo Silva UFSJ

Dr. Paulo dos Santos Pompeu

Orientador

LAVRAS – MG

2012

Este trabalho foi desenvolvido como parte do projeto de Pesquisa intitulado COMPORTAMENTO DE PEIXES A JUSANTE DE BARRAGENS: SUBSÍDIOS PARA SUA CONSERVAÇÃO, através de parceria entre:



com financiamento e apoio:



AGRADECIMENTOS

Tenho muito a agradecer a muitas pessoas que possibilitaram, facilitaram e fizeram que esses dois anos e pouco de mestrado fossem de grande aprendizado e crescimento profissional e pessoal. Terminei o mestrado sabendo mais sobre algumas coisas e com a certeza que sei praticamente nada sobre muita coisa. Isso dá mais força para buscar novos conhecimentos.

Gostaria de agradecer ao Paulo pelos ensinamentos, disponibilidade, amizade e pelo exemplo de profissional a ser seguido. Por mostrar que por mais monstruosa e ousada que seja a ideia é possível fazer e até parecer ser simples. Aos colegas e amigos de laboratório (Fábio e Lud, Lucas e dona onça, Rafa e patroa, Lelê, Tatau, Miriam Yumi, Sara, Ciça, Nara, Igor, Marcos, Alexandre, Ceceu, Cintia, Dani, Nina, Marcela, Débora) pelas ótimas conversas, campos, viagens e pela acolhida. Sem vocês não teria aprendido o tanto que aprendi e não teria as grandes amizades que levo!

Aos colegas da turma do mestrado pelo que aprendi em nossas discussões das disciplinas, pelos ótimos momentos no curso de campo e pela amizade. Ainda está faltando a revanche do truco e o peixe assado!!

Ao pessoal da ecologia pelos momentos do café, futebol, coletas e prosas furadas em geral.

À Alessandra e ao Gil pelas sugestões na qualificação.

Aos colaboradores do projeto Hersília, Cacá e Luizão.

À banca por aceitar o convite e já adianto o agradecimento às sugestões e considerações que farão.

Ao Programa Peixe Vivo pelo incentivo e apoio. Tenho certeza que seguindo os rumos traçados muitos frutos ainda serão colhidos. O pioneirismo, a qualidade e a Robustez dos trabalhos desenvolvidos são e serão exemplos a serem seguidos

À Raquel pelo auxílio desde o início das coletas de dados até as últimas análises e por me ensinar a maioria do que sei sobre hidroacústica. Ao Chico por me ajudar a enxergar os peixes de outra forma, por me ensinar muito do pouco que sei sobre eles, pelas várias pulgas atrás da orelha que já me deram muito que pensar e pelo ceticismo que me deu ainda mais vontade de ver o sucesso do projeto. Ao Raoni pelo primeiro contato com os peixes do SanFra e pelo que aprendi.

Ao Tio Newton pelos conselhos e incentivo.

Aos pescadores (Waldir, Walmir e Juninho) e aos que me acompanharam em campo (Igor, Tatau, Fábio, Raquel, Rafael e Alexandre). Sem a ajuda deles, não seria possível a realização do trabalho.

Ao Rafael e ao Ângelo por segurarem as pontas durante todo o projeto.

Ao Allan, Davi e Claudão por se tornarem a minha família de Lavras e pela última cerveja que sempre ficava na geladeira e nos obrigava a começar de novo desde o começo!

Aos meus pais, por me apoiarem e por serem meus maiores exemplos de vida. Aos meus irmãos e familiares por serem meu porto seguro!

À Tatau pelo companheirismo, alegria, carinho e tudo que me ajudou durante o mestrado e no resto também! Minha bióloga amiga e namorada preferida!

Aos que eu me esqueci, muito obrigado!

RESUMO

A crescente demanda por energia elétrica tem, cada vez mais, aumentado a necessidade de implantação de usinas hidrelétricas no Brasil, uma vez que a sua matriz energética é baseada na hidroeletricidade. A construção de barramentos e a consequente formação de reservatórios impactam diretamente toda a comunidade aquática daquele ambiente. A transformação de um trecho lótico para lêntico, além do bloqueio do livre trânsito de peixes entre esses trechos figura entre os principais impactos provenientes desses empreendimentos. Dessa forma, o conhecimento sobre a comunidade de peixes imediatamente a montante do barramento é uma importante ferramenta na busca por alternativas para reduzir a intensidade desses problemas. O objetivo desse trabalho foi entender a distribuição da comunidade de peixes imediatamente a montante da barragem da UHE Três Marias, bem como os fatores que definem essa distribuição. A utilização dessa informação para medidas de conservação e manejo da ictiofauna é o resultado mais importante desse estudo. A hidroacústica foi a principal ferramenta metodológica utilizada nesse trabalho. Redes de emalhar foram utilizadas para complementar as informações, principalmente no que diz respeito à composição e condições reprodutivas das espécies na área amostral. O fenômeno comportamental chamado Migração Vertical Diária foi constatado em todas as amostragens realizadas. Os parâmetros limnológicos e operativos da UHE Três Marias que poderiam ser determinantes para essa movimentação foram avaliados. Através dos dados de distribuição dos peixes na coluna d'água, capturas com redes de emalhar e estágio de maturação gonadal durante todo o período amostrado foi identificado o principal período e época do ano para que aberturas das comportas do vertedouro fossem realizadas visando a passagem de peixes do reservatório para jusante.

Palavras chave: Hidroacústica. Passagem de peixes. Impacto de barragens.
Migração Vertical Diária

ABSTRACT

The increase of the electricity demand has increased the need for construction of hydropower plants in Brazil, mainly because its energy matrix is based on hydroelectricity. The dams constructions and their reservoirs directly impact the entire aquatic community in that environment. The transformations of a lotic to a lentic area, in addition to the blockage of the fish free passage between downstream and upstream areas are among the main impacts from these projects. Thus, knowledge of the fish community immediately upstream of the dam is an important tool in the search for alternatives to reduce the intensity of these problems. The aim of this study was to understand the distribution of the fish upstream of UHE Três Marias power plant, as well as factors that define this distribution. The use of this information for conservation and management of the fish fauna is the most important result of this study. The hydroacoustics was the main methodological tool used in this work. Gill nets were used to supplement the information, especially regarding the composition and reproductive conditions of the species in the sampled area. The behavioral phenomenon called Diel Vertical Migration was observed in all samples. The limnological parameters and operative conditions of the UHE Três Marias that could be decisive for this movement were evaluated. Through fish distribution in the water column data, catches with gillnets and stage of gonadal maturation throughout the sampling period, the main period and time of year for openings of the spillway gates to enable the fish passage from the reservoir to the stretch of river downstream was identified.

Keywords: Hydroacoustics. Fish passage. Impact of dams. Diel Vertical Migration.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	9
1	INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2	OBJETIVO.....	16
	REFERÊNCIAS.....	17
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	23
	ARTIGO 1 Distribuição vertical da comunidade de peixes no reservatório da UHE Três Marias.....	24
	RESUMO.....	25
	ABSTRACT.....	26
1	INTRODUÇÃO.....	27
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
2.1	Área amostral.....	29
2.2	Dados Hidroacústicos.....	30
2.3	Dados biológicos.....	35
2.4	Dados abióticos.....	35
2.5	Análise de dados.....	36
3	RESULTADOS.....	37
4	DISCUSSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	51
	ARTIGO 2 Viabilidade de utilização do vertedouro como possível rota de descida de peixes pela UHE Três Marias.....	57
	RESUMO.....	58
	ABSTRACT.....	59
1	INTRODUÇÃO.....	60
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
2.1	Local de estudos.....	61
2.2	Dados Hidroacústicos.....	63
2.3	Dados abióticos.....	68
2.4	Dados biológicos.....	69
2.5	Análise de dados.....	70
3	RESULTADOS.....	71
4	DISCUSSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS.....	86

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, praticamente todos os grandes rios estão barrados ou sob influência de barramentos (Agostinho *et. al.*, 2008). Até Novembro de 2008, existiam 706 grandes empreendimentos hidrelétricos em operação espalhados pelos rios do país. Ao contrário da maioria dos países do mundo, a matriz energética brasileira é mantida basicamente pela energia hidráulica (16,4% em todo o mundo e 83,2% no Brasil) (ANEEL, 2008). O aumento da demanda por energia elétrica nos últimos anos tem gerado a necessidade de implementar novos empreendimentos de grande, médio e pequeno porte visando suprir esse déficit.

Apesar de sua importância para o desenvolvimento industrial e econômico, as usinas hidrelétricas são responsáveis por mudanças severas e irreversíveis no regime hidrológico natural dos rios, alterando também a qualidade e disponibilidade de habitats, além de todo o complexo funcionamento das comunidades daquele local (Agostinho *et. al.*, 2008). Represamentos estão entre os principais impactos causados por atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica, sendo responsáveis por intensas mudanças físicas, químicas e biológicas nos cursos d'água (Baxter, 1977).

Segundo Agostinho e colaboradores (1999), após a formação de um reservatório as comunidades de peixes se tornam mais pobres e menos estáveis, uma vez que a criação desse novo ambiente impõe não só o impacto inicial de um represamento, mas também perturbações produzidas pela operação da barragem ou outras ações antrópicas. Dentre os principais impactos causados pela modificação de um habitat lótico para outro lântico são: redução da velocidade da água e alteração no carreamento de sedimento e matéria orgânica que, por consequência, afetam as condições limnológicas do curso d'água. Além

disso, reduz a diversidade de habitats, micro-habitats, e sítios de desova originais, tornando os abrigos para presas estritos ou ausentes (O'Brien, 1990).

Outro importante aspecto ecológico afetado por esse impacto é o da migração, fenômeno biológico diverso e complexo que tem fascinado cientistas por séculos (Dingle, 1996). Animais tendem a realizar movimentos migratórios visando satisfazer algumas das principais forças que governam os organismos: reprodução, alimentação e sobrevivência. Dentre os diversos tipos de migração que os peixes podem realizar, aquelas com propósitos reprodutivos são as que possuem maior número de estudos realizados (Godinho & Kynard, 2009; Barletta *et al.*, 2010; Dugan *et al.*, 2010). Porém, diversos aspectos desse fenômeno ainda precisam ser mais bem explorados.

A ictiofauna da região neotropical se caracteriza por uma alta diversidade de espécies, sendo que as espécies migradoras representam mais de 15 % dessa diversidade. Essas espécies são responsáveis por uma grande parcela da pesca dessa região (Oldani *et al.*, 2001). Essas espécies são desejadas por pescadores devido ao seu valor de mercado ou por sua performance para pesca esportiva (Agostinho *et al.*, 2002). As espécies migradoras possuem grandes áreas de vida, incluindo habitats de alimentação, desova e desenvolvimento. Essas áreas podem estar centenas de quilômetros distantes umas das outras (Carolsfeld *et al.*, 2003).

A formação de reservatórios impacta diretamente esse grupo uma vez que bloqueiam a comunicação entre os habitats requeridos para realização de todas suas funções vitais (Agostinho *et al.*, 2005). Estudos com salmonídeos mostram que não só a construção do barramento propriamente dito, mas também a grande extensão do trecho lântico dos reservatórios pode representar uma barreira para determinadas espécies, afetando diretamente o sucesso reprodutivo de espécies migradoras (Clarke *et al.* 2007). A implementação de empreendimentos hidrelétricos afeta não só a migração para reprodução de

jusante para montante dos adultos (piracema), mas também a de montante para jusante após a desova (Agostinho *et al.*, 2007).

Com o intuito de restabelecer a conectividade entre os habitats das espécies migradoras, dezenas de Mecanismos de Transposição de Peixes (MTP) foram construídos em cursos d'água brasileiros, principalmente após a lei 4630 de 1998 que *tornou obrigatória a implantação de escadas para peixes em barragens construídas em cursos d'água de domínio da união*. Porém, algumas empresas concessionárias de energia elétrica tem sido questionadas por órgãos ambientais, sociedade organizada e comunidade científica sobre a necessidade e/ou viabilidade de implementação desses mecanismos em empreendimentos já em operação.

Um importante aspecto a ser considerado para a decisão sobre a implantação de um MTP é a possibilidade de retorno das espécies migradoras e o recrutamento dos jovens para a região a jusante do rio. Tendo em vista a conservação das populações de peixes, ovos, larvas e juvenis provenientes da reprodução a montante do barramento devem alcançar o trecho lótico do rio a jusante da barragem (Agostinho *et al.*, 2004). Transposição de peixes realizada em apenas um sentido (geralmente jusante montante) pode representar um grande impacto ecológico para as populações tanto de montante quanto de jusante (Pelicice & Agostinho, 2008). Cabe salientar que este aspecto é particularmente crítico quando os locais de desova estão localizados a montante do reservatório e os criadouros (planície de inundação) a jusante da barragem.

Poucos estudos que avaliam a passagem de peixes de montante para jusante para ictiofauna da região neotropical, mas indicam que apenas uma pequena fração dos adultos consegue retornar, além de pouco ou nenhum sucesso de passagem de ovos e larvas pelo barramento (Pompeu *et al.*, 2004; Makrakis *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2011).

Para que peixes transpostos retornem ao trecho de jusante, eles precisam atravessar a área do reservatório e transpor o barramento através das turbinas, comportas de vertedouro ou em alguns casos, mecanismos especificamente desenvolvidos para esse objetivo. No Brasil não existem tais mecanismos de passagem específicos para viabilizar o retorno dos peixes para jusante do barramento. Durante essa movimentação, eles são expostos a diversas condições hidráulicas e podem ser injuriados ou mortos. (Bell & DeLacy, 1972; Bell, 1981; Ruggles & Murray, 1983; Turnpenny *et al.*, 1992; Čada *et al.*, 1997; Pavlov *et al.*, 1999). Possíveis injúrias incluem choques com estruturas fixas das turbinas ou vertedouro como a tomada d'água e a bacia de dissipação ou estruturas móveis como as lâminas das turbinas em movimento. Pressão, turbulência, cortes e cavitação também podem causar injúrias ou até morte tardia (Carlson & Duncan 2003).

Outro tipo de movimentação realizada por peixes, bem como outros organismos, principalmente em ambientes marinhos e lênticos de água doce, é a migração vertical diária (MVD). Esse fenômeno consiste na ascensão de populações às camadas superficiais em um determinado período do dia e a descida às profundidades opostas em outro período, ambos durante o curso de um dia. Geralmente, as camadas superficiais são utilizadas durante a noite e as mais profundas durante o dia (Busch & Mehner, 2009). Essa movimentação pode ser governada por mudanças físico-químicas da água durante o ciclo de um dia (Lucas & Baras, 2001). Os padrões de migração podem variar de acordo com o ecossistema em questão (espécies, estágio de vida, condições limnológicas da região). Muitos autores relacionam a MVD de peixes à otimização da obtenção de recursos, termoregulação e fuga de predadores (Scheuerell & Schindler, 2003; Stockwell *et al.*, 2010; Jensen *et al.*, 2011). Outros fatores como concentração de oxigênio dissolvido, temperatura e intensidade de luz também são considerados como importante para esse fenômeno (Rowe & Chisnall, 1995;

Appenzeller & Legget 1995; Gal *et al.*, 1999; Hurst *et al.*, 2009) Apesar da MVD ser um fenômeno comportamental bem compreendido para peixes e outros organismos de água doce, no Brasil esses estudos estão concentrados, principalmente, em organismos zooplanctônicos (Krumme, 2004; Silva *et al.*, 2009; Bezerra-Neto *et al.*, 2009; Ghidini & Santos-Silva, 2012). Uma metodologia para realização de estudos de comportamento espacial de peixes que não depende da captura ativa de indivíduos é a utilização de sonares. A utilização do som transmitido para detectar peixe é comumente conhecida na literatura como hidroacústica, ecossom, acústica subaquática (Brandt, 1996; Lucas & Baras, 2000).

A hidroacústica deu seus primeiros passos por volta de 1912, após o acidente com o Titanic. Essa tragédia levou os cientistas a pensarem em como detectar icebergs para evitar novos acidentes. Em 1914 um iceberg foi detectado a cerca de 3 km de distância. No período entre as duas grandes guerras mundiais, com fins bélicos, essa ferramenta teve enormes avanços, principalmente com objetivo de detecção de submarinos (BioSonics, 1998). Com o passar do tempo, essa tecnologia foi transferida para a indústria da pesca comercial o que possibilitou os pescadores detectarem e capturarem peixes com maior eficiência e menores custos. O primeiro registro de utilização da hidroacústica para localizar peixes é datado de 1929. Um transmissor e um receptor (transdutor) foram colocados em um lago de criação de peixes. Quando peixes passavam em frente ao transmissor o resultado obtido pelo receptor era diferente (Simmonds & MacLennan, 2005). Nos anos subsequentes, houve avanços na tecnologia de transmissão e recepção de pulsos e análise das informações obtidas através de ecogramas (interface de análise dos ecos refletidos).

A função básica de uma ecossonda começa com a transmissão de um pulso de alta voltagem para o transdutor. O transdutor converte energia elétrica em uma onda de som (pulso) que é liberada na água. O som viaja a uma

velocidade entre 1400 a 1600 m/s de acordo com a salinidade e temperatura (Brandt, 1996). Se o pulso encontra algum objeto com densidade diferente do meio ao seu redor (água), uma certa quantidade da onda é refletida de volta e é detectada pelo transdutor. Se nenhum objeto estiver ao alcance daquela onda, ela sairá do transdutor, viajará até o fundo do corpo d'água e retornará para o transdutor trazendo apenas informações sobre fundo. A onda de som, ao retornar ao transdutor, é novamente transformada em energia elétrica, amplificada, filtrada pelo receptor e armazenada. A refletância do eco em peixes ocorre principalmente devido alguns componentes de seu corpo que tem densidades diferentes da água ao redor (bexiga natatória e músculos) (Brandt, 1996).

A intensidade do pulso refletido pelo objeto (reflexão acústica) fornece informações sobre o tamanho (comprimento e biomassa) do peixe ou do conjunto de peixes (cardume) refletidos. Informações de distribuição e localização dos peixes podem ser obtidas através de um GPS acoplado à ecosonda. A duração do pulso, e taxa de transmissão do pulso determinam a resolução espacial dos dados acústicos (BioSonics, 1998). A hidroacústica é uma ferramenta bem estabelecida para estudos de peixe em ambientes marinhos, avaliando abundância e examinando heterogeneidade espacial de peixes (Simmonds & MacLennan, 2005). Cada vez mais, vem sendo utilizada para propósitos semelhantes em ambientes de água doce (Brandt, 1996; Lyons & Lucas, 2002).

As principais vantagens dessa metodologia são: peixes não são machucados ou sofrem interferência quando amostrados; possibilita a amostragem de grandes áreas em um relativamente pequeno período de tempo; dados espaço-temporais de alta resolução e confiabilidade são adquiridos durante as amostragens. Entre as desvantagens, a dificuldade da determinação taxonômica correta dos indivíduos visualizados, a impossibilidade de amostragem de organismos próximos à superfície e do fundo; e a possibilidade

de erros amostrais como confusão entre peixes e outros objetos, tais como invertebrados e bolhas de ar (Brandt, 1996; Simmonds & MacLennan, 2005). Apesar dessas limitações, esta é uma técnica considerada de alto valor para estudos de comportamento de peixes (Lucas & Baras, 2000).

2 OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo conhecer o comportamento das populações de peixes no reservatório imediatamente a montante da Usina Hidrelétrica de Três Marias (UHETM), utilizando a hidroacústica.

Para isso, a dissertação foi estruturada em dois capítulos desenvolvidos nos moldes de artigos científicos. O primeiro capítulo refere-se ao estudo da movimentação diária dos peixes na coluna d'água do reservatório da UHETM – migração vertical diária (MVD) e os fatores que governam essa movimentação. O segundo capítulo avalia a viabilidade de utilização da abertura das comportas do vertedouro como rota alternativa para migração de peixes de montante para jusante do barramento, bem como a melhor estratégia caso essa medida seja implementada.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A. et al. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. In: TUNDISI, J. G. & STRASKRABA, M. (Ed.). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos, Backhuys Publishers. p.227-265. 1999.

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; LATINI, J. D. Fisheries management in Brazilian reservoirs: lessons from/for South America. **Interciencia**, Caracas, v. 29, n. 6, p. 334-338, Jun. 2004.

AGOSTINHO, A. A. et al. Efficiency of fish ladders for Neotropical ichthyofauna. **River Research and Application**, Chichester, v. 18, n. 3, p. 299-306, Mai. 2002.

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. **Conservation Biology**, Boston, v. 19, n. 3, p. 646-652, Jun. 2005

AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM, 2007. 501 p.

AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; GOMES, L. C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 4, p. 1119-1132, Nov. 2008.

AGOSTINHO, C.S. et al. All that goes up must come down? Absence of downstream passage through a fish ladder in a large Amazonian river. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 675, n. 1, p 1-12, Out. 2011.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em: 05 mar. 2012

APPENZELLER, A. R.; LEGGETT, W. C. An evaluation of light-mediated vertical migration of fish based on hydroacoustic analysis of the diel vertical movements of rainbow smelt *Osmerus mordax*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 52, n. 3. p. 504–511, Mai. 1995.

BARLETTA, M. et al. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. **Journal of Fish Biology**, Liverpool, v. 76, n. 9, p. 2118–2176, Jun. 2010.

BAXTER, R.M. Environmental effects of dams and impoundments. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v.8, p. 255-283. Nov. 1977.

BELL, M. C.; DELACY, A. C. **A compendium on the survival of fish passing through spillways and conduits**. Report to the U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon. 1982.

BELL, M. C. **Updated compendium on the success of passage of small fish through turbines**. Report to the U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon. 1981.

BEZERRA-NETO, J. F. et al. The role of predation in the diel vertical migration of zooplankton in two tropical freshwaters ecosystems. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v. 21, n. 1, p. 45-56, Fev. 2009.

BIOSONICS. Fundamentals of fisheries acoustics: **Course Manual**. Seattle, 1998.

BRANDT, S. B. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In: MURPHY, R. B.; WILLIS D. W. (Ed). **Fisheries Techniques**. American Fisheries Society. Bethesda, 1996. 732p.

BUSCH, S.; MEHNER, T. Hydroacoustic estimates of fish population depths and densities at increasingly longer time scales. **International Review of Hydrobiology**, Weinheim, v. 94, n. 1, p. 91-102, Fev. 2009.

- ČADA, G. F.; COUTANT, C. C.; WHITNEY, R. R.. **Development of biological criteria for the design of advanced hydroturbines**. U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, DOE/ID-10578, Idaho Falls. 1997
- CARLSON, T. J.; DUNCAN, J. P. Evolution of the sensor fish device for measuring physical conditions in severe hydraulic environments. DOE/ID-11079, U.S. Department of Energy Idaho Operations Office, Idaho Falls. 2003
- CAROLSFELD, J. et al. (Ed.). **Migratory fishes of South America: biology, fisheries, and conservation status**. Victoria: World Fisheries Trust/IDRC/World Bank, 2003. 380 p.
- CLARKE, A. D.; TELMER, K. H.; SHRIMPTON, J. M. Habitat use and movement patterns for a fluvial species, the Arctic grayling, in a watershed impacted by a large reservoir: evidence from otolith microchemistry. **Journal of Applied Ecology**, Londres, v. 44, n. 6, p. 1156–1165, Dez. 2007.
- DINGLE, H. **Migration: The biology of live on the move**. Oxford University Press, Oxford, 1996. 481 p.
- DUGAN, P. J.; BARLOW, C.; AGOSTINHO, A. A. Fish migration: dams, and loss of ecosystem services in the Mekong basin. **AMBIO**, Stockholm, v. 39, n. 4, p. 344–348, Jun. 2010.
- GAL, G. et al. Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 56 n. 2, p. 311–322, Fev. 1999.
- GHIDINI, A. R.; SANTOS-SILVA, E. N. Composition, species richness and patterns of nycthemeral vertical distribution of planktonic cladocerans in a black water Amazonian lake. **Nauplius**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 101-119. Jan. 2012.
- GODINHO, A. L.; KYNARD, B. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. **River Research and Applications**, Chichester, v. 25, n. 3, p. 702-712, Jul. 2009.

- HURST, T.P. et al. Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). **Fisheries Oceanography**, Tokyo, v. 18, n. 5, p. 301–311, Set. 2009.
- JENSEN, O. P. et al. Foraging, bioenergetic, and predation constraints on diel vertical migration: field observations and modeling of reverse migration by young-of-year herring *Clupea harengus*. **Journal of Fish Biology**. Liverpool, v. 78, n. 2, p. 449-465, Fev. 2011
- KRUMME, U. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. **Fisheries Research**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 1-15. Jan. 2004.
- LUCAS, M. C.; BARAS, E. Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. **Fish and Fisheries**, Oxford, England, v. 1, n. 4, p. 283-316, Dez. 2000.
- LUCAS, M. C.; BARAS E. Migration of freshwater fishes. Osney Mead, Blackwell Science, 420p. 2001.
- LYONS, J. & LUCAS, M. C. The combined use of acoustic tracking and echosounding to investigate the movement and distribution of common bream (*Abramis brama*) in the River Trent, England. **Hydrobiologia**, The Hague, v. 483, n. 1, p. 265–273, Fev. 2002.
- MAKRAKIS, S. et al. Utilization of the fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating potamodromous species. **Neotropical Ichthyology**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 197-204, June 2007.
- O'BRIEN, W. J. Perspectives on fish in reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Ed.) **Reservoir limnology: ecological perspectives**. New York, John Wiley. 1990.p.209-225.
- OLDANI, N. O. et al. Evaluación de los sistemas de transferencia para peces de la represa de Yacyretá. **Natura Neotropicalis**, Santa Fe, v. 32, n. 2, p. 87–101. Dez. 2001

PAVLOV, D. S.; LUPANDIN, A. I.; KOSTIN, V. V. **Downstream migration of fish through dams of hydroelectric power plants**. Russian Academy of Science, Moscow, Russia. 1999. 239 p.

PELICICE, F. M.; AGOSTINHO, A. A. Fish-passage facilities as ecological traps in large Neotropical rivers. **Conservation Biology**, Boston, v. 22, n. 1, p.180-188. 2008.

POMPEU, P. S. et al. **Evaluation of downstream fish passage through Santa Clara Power Plant Dam, Minas Gerais, Brazil**. In: Proceedings of fifth international symposium on ecohydraulics, aquatic habitats: analysis & restoration, Madrid, IAHR, v. 2, p. 999-1003. 2004.

ROWE, D. K.; CHISNALL, B. L. Effects of oxygen, temperature and light gradients on the vertical distribution of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in two North Island, New Zealand, lakes differing in trophic status, **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, Auckland , v. 29, n.3, p. 421-434. Set. 1995.

RUGGLES, C. P., AND D. G. MURRAY. **A Review of Fish Response to Spillways**. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n. 1172. Halifax, Canadá. Jun. 1983.

SCHEUERELL, M. D.; SCHINDLER, D. E. Diel vertical migration by juvenile sockeye salmon: empirical evidence for the antipredation window. **Ecology**, Tempe, v. 84, n. 7, p. 1713-1720, Jul. 2003.

SILVA, A. M. A. et al. Diel vertical migration and distribution of zooplankton in a tropical Brazilian reservoir. **Biotemas**, São Carlos, v. 22 n. 1, p. 49-57, Mar. 2009.

SIMMONDS, E. J.; MACLENNAN, D. N. **Fisheries Acoustics: Theory and Practice**, 2ed. Blackwell, Oxford. 2005.413p.

STOCKWELL, J.D. et al. Empirical evaluation of predator-driven diel vertical migration in Lake Superior. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Ottawa, v. 67, n. 3, p. 473-485, Mar. 2010.

TURNPENNY, A.W.H. et al. **Experimental studies relating to the passage of fish and shrimps through tidal power turbines.** National Power PLC, Fawley, Hampshire, United Kingdom. 1992.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Distribuição vertical da comunidade de peixes no reservatório da UHE Três Marias

RESUMO

Durante o período de dezembro de 2010 e dezembro de 2011 a distribuição vertical da comunidade de peixes do reservatório da UHE Três Marias (UHETM) foi estudada. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição dos peixes desse reservatório, bem como entender os fatores que governam essa movimentação. Dezoito campanhas foram realizadas para as amostragens ativas e passivas utilizando redes de emalhar e hidroacústica, respectivamente. As amostragens através da hidroacústica foram realizadas durante 24 horas com seis horas de intervalo entre amostragens, já as com rede de emalhar tiveram 12 horas de intervalo entre cada amostragem. Foi observado o fenômeno comportamental conhecido como Migração Vertical Diária (MVD). Dentre os parâmetros limnológicos do reservatório e operacionais da UHETM avaliados, a transparência da água foi responsável por explicar a maior parte da distribuição vertical dos peixes durante o dia. As taxas de capturas de *Pimelodus maculatus* durante o dia e à noite em diferentes profundidades sugerem que essa espécie figura entre as mais importantes para o padrão de migração vertical observado. Esses resultados são importantes para propostas de medidas de manejo visando a mitigação de impactos provenientes da implementação de usinas hidrelétricas como a interrupção das rotas migratórias dos peixes. A hidroacústica, em conjunto com coletas ativas, se mostrou altamente eficaz para realização de estudos de distribuição de peixes nesse reservatório.

Palavras-chave: Migração vertical diária. Hidroacústica. Comportamento migratório. Barragens. Reservatório.

ABSTRACT

Between December 2010 and December 2011 the UHE Tres Marias dam reservoir's fish communities' vertical distribution of the was evaluated. The aim of this study was to evaluate the fish distribution of this reservoir, as well as understand the factors that govern these movements. Eighteen active and passive field samples were carried out by gillnets and hydroacoustics, respectively. The hydroacoustics sampling were carried out during 24 hours with six hours of interval between sampling and 12 hours interval for gillnet sampling for each campaign. The behavioral phenomenon known as Daily Vertical Migration (MVD) was observed. Among the reservoir's limnological parameters and UHETM operational data evaluated, water transparency was responsible for most of the explanation of the fish vertical distribution during the day. The catch rates of *Pimelodus maculatus* during the day and night at different depths suggest that this species is among the most important in explaining the observed vertical migration. These results are important to be able to propose management measures aiming the mitigation of some impacts from the hydroelectric plants constructions such as blocking the fish migration routes. The hydroacoustic, together with active sampling, was highly effective for distribution studies of fish in this reservoir.

Keywords: Diel vertical migration. Hidroacoustics. Migratory behavior. Dams. Reservoir.

1 INTRODUÇÃO

A Migração Vertical Diária (MVD) de organismos aquáticos é um fenômeno comportamental cíclico que responde à estímulos físicos e químicos do ambiente (Rechencq *et al.*, 2011). Entre os tipos de MVD existentes, aquele em que os indivíduos permanecem em águas mais profundas durante o dia e sobem para águas superficiais durante o período noturno é denominado clássico ou normal (Busch & Mehner, 2009). Esse comportamento tem sido observado e estudado em comunidades ou espécies de zooplâncton, ictioplâncton e peixes em ambientes marinhos (Munk & Christensen, 1989; Stensholt *et al.*, 2002; Weng & Block, 2004; Sims *et al.*, 2006; Adan *et al.*, 2009) e de água doce (Janssen & Brandt, 1980; Levy, 1991; Hrabik *et al.*, 2006; Mehner *et al.*, 2007; Semyalo *et al.*, 2009; Wojtal-Frankiewicz *et al.*, 2010), principalmente em regiões temperadas. A otimização da obtenção de recursos e eficiência bioenergética, predação e termoregulação são os mecanismos mais citados como responsáveis por esse fenômeno segundo Stockwell e colaboradores (2010). Além dessas, outras variáveis mais específicas também tem sido levantadas como definidoras da MVD como a concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, luminosidade (Rowe & Chisnall, 1995; Appenzeller & Legget, 1995; Gal *et al.*, 1999; Hurst *et al.*, 2009).

Comunidades de organismos planctônicos são as mais comumente estudadas. No Brasil, estudos acerca de MVD em águas continentais apenas foram desenvolvidos para comunidades zooplactônicas (eg. Krumme, 2004; Bezerra-Neto *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009; Ghidini & Santos-Silva, 2012). Até o momento não existem trabalhos que tratam de MVD de peixes jovens ou adultos em água doce brasileira.

Para ambientes de água doce, essa modalidade de migração é mais evidente em ambientes lênticos do que em ambientes lóticos, como os rios onde os peixes seguem predominantemente a orientação do fluxo d'água (Lucas & Barras, 2001). Dessa forma, a reestruturação física, química e ecológica causada pela formação de um novo ambiente lêntico (Barletta *et al.*, 2010) pode ser responsável pela mudança comportamental de algumas espécies de peixes presentes nesse novo ambiente, podendo passar a MVD acontecer ou se tornar mais pronunciada. A crescente demanda por energia hidrelétrica que, por consequência, cria grande pressão pela criação de reservatórios vem, cada vez mais, mudando as características dos corpos d'água em todo o mundo e principalmente em regiões com grande potencial hidrelétrico como o Brasil (Agostinho *et al.*, 2007).

A hidroacústica tem sido a ferramenta mais comum para realização de estudos relacionados com a MVD (Busch & Mehner, 2009) tanto em ambientes marinhos (Zwolinski *et al.*, 2007; Stockwell *et al.*, 2010; Jensen *et al.*, 2011) quanto de água doce (Neverman & Wurtsbaugh, 1994; Hrabik *et al.*, 2006; Mehner *et al.*, 2007; Rechencq *et al.*, 2011), uma vez que possibilita a amostragem de grandes áreas em um período relativamente pequeno de tempo; dados espaço-temporais de alta resolução e confiabilidade são adquiridos durante as amostragens (Brandt, 1996); é um método não seletivo; e permite a realização de uma varredura da distribuição em toda a coluna d'água, além de fornecer dados acerca da densidade de peixes (Simmonds & Maclennan, 2005).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a distribuição na coluna d'água da comunidade de peixes no reservatório da UHE Três Marias (MG), na bacia do rio São Francisco, através da hidroacústica, bem como buscar possíveis fatores limnológicos ou operativos da usina que podem ser responsáveis por reger essa movimentação. O conhecimento e entendimento

desse fenômeno comportamental podem subsidiar propostas de medidas de manejo e conservação da ictiofauna de ecossistemas impactados, como é o caso de reservatórios criados visando geração de energia hidrelétrica, como a passagem de peixes por turbinas, projetos de implantação de mecanismos de transposição de peixes, entre outros.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área amostral

O reservatório de Três Marias está localizado no alto rio São Francisco, Minas Gerais entre as coordenadas S 18° 12' 51" W 45° 15' 51". Na região existem duas estações bem definidas: a estação chuvosa (entre outubro e março), no verão, e outra seca (entre abril e setembro), no inverno. A pluviosidade média anual é de 1200 a 1300 mm e a temperatura média anual é de 21,9°C (Esteves *et al.*, 1985). O trimestre mais chuvoso (novembro, dezembro e janeiro) contribui com cerca de 55 a 60% do total anual precipitado. Já o trimestre mais seco, correspondente aos meses de junho, julho e agosto, contribui com menos de 5% da precipitação anual (ANA, 2004). O reservatório é do tipo monomítico quente (Esteves *et al.*, 1985) apresentando estratificação térmica apenas no verão.

A Usina Hidrelétrica de Três Marias (UHETM) foi construída no período de 1957 a 1960 com objetivos de regularização do rio São Francisco, navegação, controle de cheias, irrigação e produção de energia hidrelétrica. A UHETM entrou em operação em 1962. O barramento possui área aterrada de 2,7 quilômetros e altura máxima de 75 metros. 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 ao vertedouro.

A potência instalada é de 396 MW, com seis turbinas do tipo Kaplan, e vazão turbinada máxima de 150 m³/s em cada uma. O vertedouro é do tipo superfície controlada e superfície revestida, com sete comportas com capacidade máxima total de 8.700m³/s (Cemig, 2006). Apesar do grande reservatório, vertimentos pela barragem são comuns durante o período chuvoso.

2.2 Dados Hidroacústicos

Foram realizadas amostragens imediatamente a montante das comportas do vertedouro e da tomada d'água da UHETM (Figura 1). Estas foram iniciadas na segunda quinzena de dezembro de 2010 e finalizadas na primeira quinzena de dezembro de 2011. As coletas de dados hidroacústicos ocorreram quinzenalmente no período chuvoso e mensalmente no período seco, sendo sempre realizadas às 6, 12, 18 e 24 horas, englobando os períodos crepusculares, diurnos e noturnos com intervalos de seis horas entre cada coleta. Todas as quatro coletas de dados de cada amostragem foram realizadas no mesmo dia, totalizando 72 coletas em 18 amostragens. Para obtenção dos dados de eco-sondagem a área de estudo foi amostrada utilizando uma eco-sonda, Biosonics Científica Digital DT-X, equipada com um transdutor digital DT-X splitbeam 6°, 120 kHz instalada a uma estrutura lateral no barco, ficando a aproximadamente 0,5m abaixo da superfície da água e com o feixe do sonar orientado verticalmente, em direção ao fundo do reservatório (Figura 2). Essa configuração permite a amostragem de toda a coluna d'água (da superfície ao fundo) durante a realização dos transectos. À eco-sonda foi acoplado um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS), com antena de alta sensibilidade

17X NMEA 0183 HVS Garmin. As áreas amostrais foram percorridas com a embarcação adaptada para a aquisição de dados acústicos. Na área próxima ao vertedouro foram realizados quatro transectos paralelos de 150 metros de comprimento com 50 metros de distância entre eles. Próximo á tomada d'água foram oito transectos paralelos com 150 metros de comprimento com espaçamento de 40 metros entre eles. Durante a realização dos transectos a ecossonda emite e recebe sinais hidroacústicos que variam de acordo com as profundidades máximas esperadas (5 pulsos por segundo na região do vertedouro e 12 na região da tomada d'água).



Figura 1 Imagem da Usina Hidrelétrica de Três Marias e parte de seu reservatório. Em destaque a área amostral.

O software Visual Acquisition, versão 6.0 (Biosonics Inc., 2010) foi utilizado para recepção, visualização e armazenamento dos dados. O equipamento foi calibrado através do uso de uma esfera de carboneto de tungstênio conforme procedimentos recomendados por Foote e colaboradores (1987) e BioSonics Inc. (2004).



Figura 2: Barco adaptado para aquisição de dados de hidroacústica.

O grau de cobertura e coeficiente de variação, valores relacionados com a comprovação da eficiência do desenho amostral, além do número, espaçamento e comprimento dos transectos, foram avaliados e propostos segundo Simmonds e MacLennan (2005) e Parker-Stetter e colaboradores (2009). O desenho amostral é exemplificado na Figura 3. Além disso, os valores utilizados para a configuração do equipamento de aquisição dos dados de hidroacústica também seguiram as recomendações de Simmonds e MacLennan (2005) e Parker-Stetter e colaboradores (2009) (Tabela 1).

Os dados hidroacústicos coletados foram processados no software Echoview versão 4.8, Myriax. A abundância de peixes foi determinada a partir da ecocontagem de traços de peixes e econtegração.



Figura 3 Representação do desenho amostral da coleta de dados hidroacústicos. As linhas paralelas representam os transectos realizados.

Tabela 1 Valores definidos para o desenho amostral e configurações para as coletas de dados no reservatório da UHETM utilizando a ferramenta hidroacústica

Características	Valores	
	Vertedouro	Tomada dá água
Comprimento de cada transecto (m)	150	150
Número de transectos por amostragem	4	8
Espaçamento entre os transectos (m)	50	40
Grau de cobertura	7,950	6,98
		Continua...

“Tabela 1, conclusão”		
Coefficiente de variação	0,25	0,25
Desenho do transecto		Paralelo
Duração do pulso		0,4 ms
Limiar de energia acústica (<i>Threshold</i>)		-100 dB
Pings por segundo	5	12
Largura do feixe entre		3dB e -3 dB 6° x 6°

A ecocontagem foi utilizada quando os ecos de peixes individuais não se sobrepunham (Simmonds & MacLennan, 2005). Para a detecção dos traços de peixes foi utilizado pelo software o algoritmo de Blackman (1986) Para ser considerado um traço de peixe é necessário, no mínimo, três ecos individuais de um mesmo peixe distantes em, no máximo, três pings uns dos outros. Alvos com valores de reflexões acústicas superiores a -65dB foram considerados como peixes, uma vez que esses valores geralmente variam de -25 a -65dB para esses organismos (Brandt, 1996). Valores médios de reflexão acústica foram calculados para cada traço de peixe.

Quando foram verificadas altas concentrações de peixes ou aglomerações, foi adotada a técnica chamada ecointegração (Taylor & Maxwell, 2007). A ecointegração permite a quantificação de peixes quando os mesmo estão muito próximos entre si o que não possibilita sua contagem. O cálculo da densidade por área da agregação foi feito segundo a equação proposta por Parker-Stetter e colaboradores (2009), que relaciona a área da agregação e o valor de reflexão acústica médio daquela amostragem (Loures, 2011) possibilitando estimar o número de peixes presentes naquela região analisada.

2.3 Dados biológicos

Para validação e maior aceitação dos resultados obtidos através da coleta de dados utilizando as ferramentas da hidroacústica, é recomendada a realização de coletas ativas de peixes na região do trabalho para obtenção de informação sobre composição de espécies e tamanho real dos peixes (Guillard, 1998; Yule 2000, Spinelli, 2010; Jurvelius *et al.*, 2011). Aglen e colaboradores (1999) sugerem a complementaridade das duas técnicas para avaliações da distribuição de peixes, uma vez que os principais pontos negativos de um são supridos pelo outro.

Por isso, concomitante às coletas de dados através da ecossondagem, três conjuntos de redes de emalhar com malhas de 3,4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 e 16 cm entre nós opostos e 10 metros lineares de comprimento foram armadas durante 24 horas, e vistoriadas as 18 e 06 horas. As baterias de redes foram dispostas em três diferentes profundidades: inferior a 5 metros, entre 10 e 20 metros e superior a 40 metros com auxílio de boias e poitas.

Os indivíduos coletados foram anestesiados com óleo de cravo da Índia, sacrificados, fixados em formalina 10% e identificados segundo Britski e colaboradores (1984). Posteriormente, foram conservados em álcool 70% e lotes testemunhos foram depositados na Coleção Ictiológica da Universidade Federal de Lavras – CI-UFLA.

2.4 Dados abióticos

Antes de toda coleta de dados foram feitas medições das condições físico-químicas da água (pH, temperatura, OD e turbidez) utilizando uma sonda

multiparâmetros YSI 556 MPS na sub superfície do reservatório sempre próximo ao local de início dos transectos. Valores de transparência da água foram obtidos através de um Disco de Secchi. Dados de vazão vertida, turbinada, nível do reservatório e pluviosidade na região, referentes ao período de amostragem do projeto, foram obtidos junto à CEMIG GT.

2.5 Análise de dados

Para verificar a existência de diferença entre o número de peixes detectados na superfície (até 15 metros), em profundidade intermediária (entre 15 e 30 metros) e no fundo (acima de 30 metros) foi aplicado o teste ANOVA.

A relação entre as condições operativas da UHETM durante a realização das amostragens com a abundância de traços de peixes foi avaliada através de uma matriz de correlação. Além disso, visando avaliar a existência de relação entre as variáveis limnológicas e a profundidade média dos traços de peixes durante o dia e noite uma matriz de correlação também foi criada.

Para verificar a relação entre os valores de reflexão acústica dos traços de peixes (que se relacionam diretamente com o tamanho dos peixes detectados) e a profundidade em que foram detectados uma regressão linear simples foi realizada.

As análises acima citadas foram realizadas através do software Statistica 10.0 (StatSoft, 2010). Foi adotado o nível de significância (p) de 0,05

Para a realização de ordenação da comunidade de peixes, baseada na abundância e composição das espécies, a técnica de escalonamento

multidimensional não-métrico (nMDS) com índice de distância de Bray-Curtis foi utilizada. As diferenças entre noite e dia e entre profundidades foram testada através de ANOSIM (análise de similaridade). Esses testes foram feito por meio do programa estatístico Primer & Permanova 6.

3 RESULTADOS

Em todas as coletas de dados realizadas foi verificada a movimentação vertical dos peixes através da hidroacústica. As populações de peixes se concentraram na região próxima a superfície durante a noite (transectos realizados as 18 e 24 horas) (Figura 4 A) e em maiores profundidades durante o dia (transectos realizados as 6 e 12 horas) (Figura 4 B), com diferença significativa na profundidade entre os dois horários (Figura 4).

Aumento da profundidade durante o dia foi observado em todos os meses de coleta, sendo mais pronunciado de maio a novembro (Figura 6). Em geral, a mediana da profundidade durante a noite variou entre 5,3 e 20,2 metros, e entre 14,5 e 35,2 metros durante o dia. Não foi verificada a existência de correlação entre as variáveis limnológicas temperatura, oxigênio dissolvido e pH e a profundidade dos traços de peixes durante o dia e a noite (Tabela 2). A transparência da água foi a única relacionada à profundidade dos traços de peixes no período diurno (Figura 7). As condições operativas da UHETM e o número de traços de peixes detectados para cada amostragem não apresentaram valores significativos de correlação (Tabela 3).

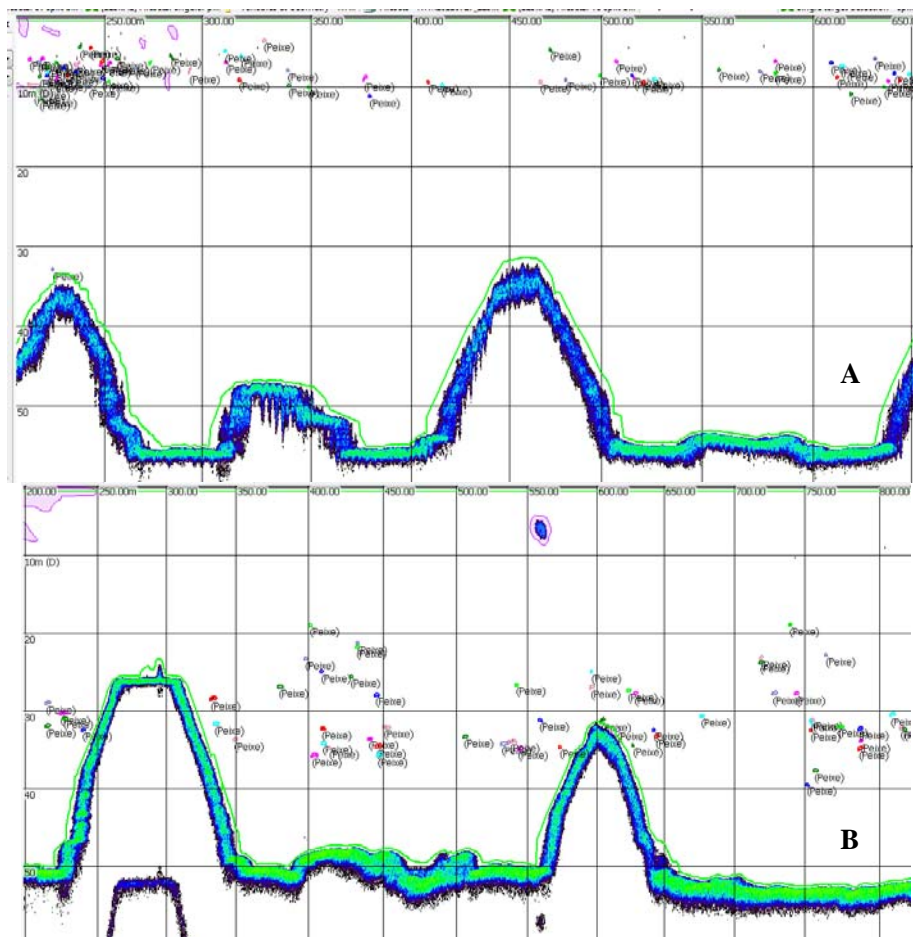


Figura 4 Ecogramas mostrando a distribuição dos peixes na coluna d'água. Em **A** é mostrada a distribuição durante a noite e em **B** durante o dia.

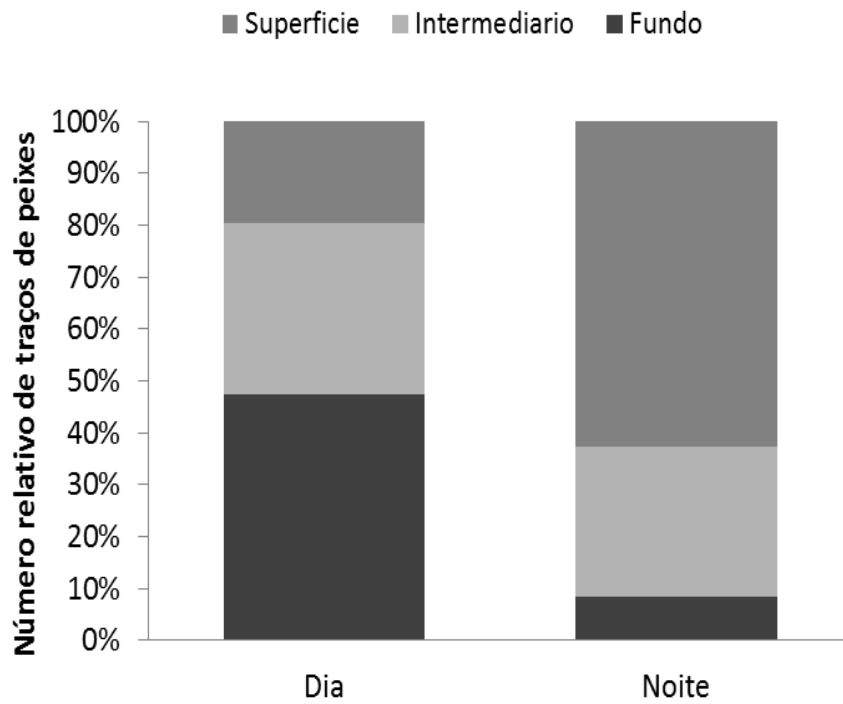


Figura 5 Número relativo de traços de peixes na superfície (até 15 metros de profundidade), profundidade intermediária (entre 15 e 30 metros) e no fundo (abaixo de 30 metros) durante as amostragens realizadas durante o dia (6 e 12 horas) e durante a noite (18 e 24 horas).

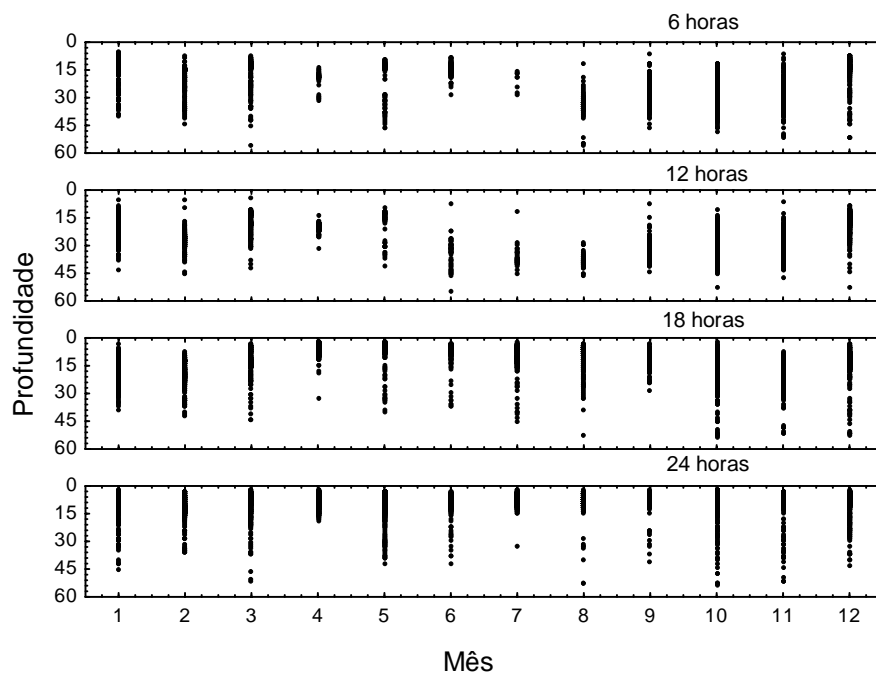


Figura 6 Profundidades dos traços de peixes para cada mês amostrado durante os quatro horários de coleta de dados hidroacústicos. No eixo x 1 se refere a janeiro, 2 a fevereiro e consecutivamente.

Tabela 2 Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas coletadas (durante o dia e a noite) e os valores de profundidade média durante o dia e a noite

	Profundidade média dia	Profundidade média noite
Ph dia	0,09	-0,08
OD dia	-0,13	0,12
Temp. dia	-0,27	0,38
Ph noite	-0,06	0,11
OD noite	-0,22	0,20
Temp. noite	-0,09	0,38

Tabela 3 Matriz de correlação entre as condições operativas da UHETM e o número de traços de peixes detectados pela hidroacústica

Número de traços de peixes	
Volume útil	0.08
Afluência	-0.15
Vazão Turbina	-0.30
Vazão Vertida	-0.19
Descarga total	-0.25

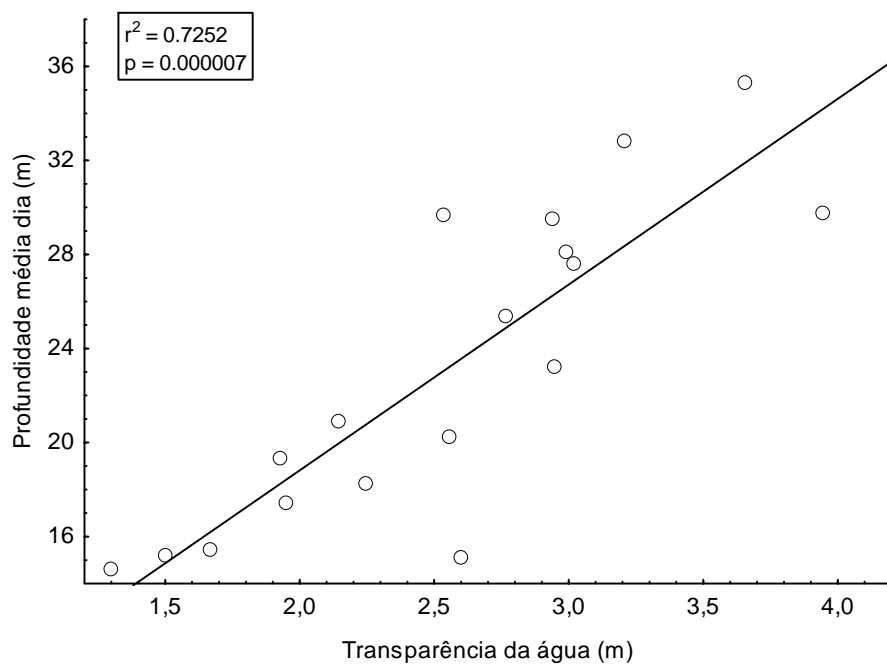


Figura 7 Regressão linear simples entre a transparência medida com disco de Secchi e a profundidade média dos traços de peixe durante o dia (transectos das 6 e 12 horas).

Foi observada relação significativa entre a profundidade e os valores de reflexão acústica ($R^2 = 0,16$; $p < 0,05$), indicando que peixes com maiores tamanhos estiveram presentes em maiores profundidades (Figura 8).

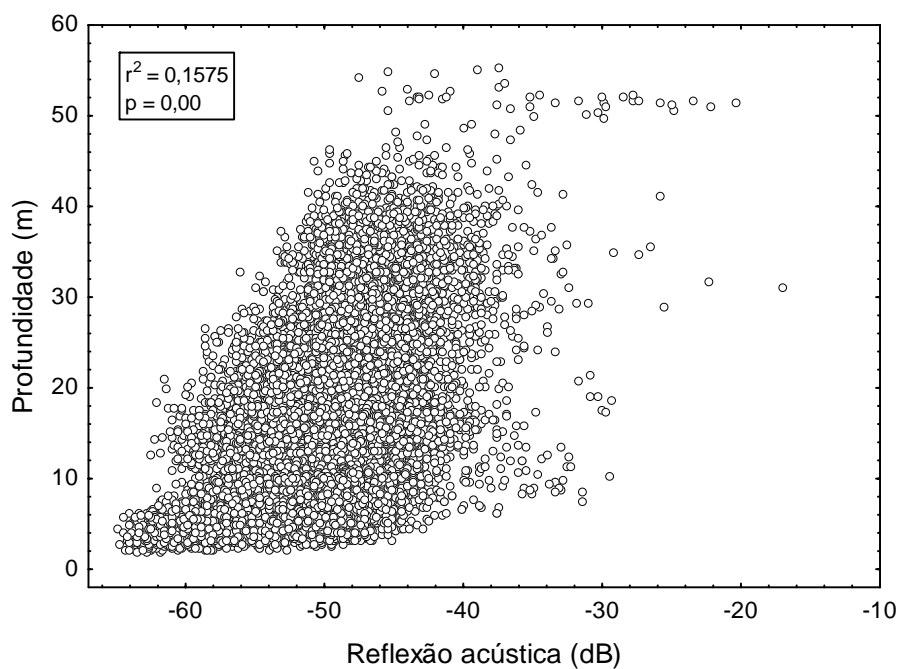


Figura 8 Regressão linear simples entre a reflexão acústica e a profundidade média de cada traço de peixe detectado através da hidroacústica.

Nas coletas utilizando redes de emalhar foram capturados 520 indivíduos de 29 espécies pertencentes a 11 famílias e 5 ordens (Tabela 3). Entre as espécies capturadas, *Cichla kelberi*, *Cichla piquiti* e *Metynniss maculatus* são exóticas a bacia do rio São Francisco, enquanto *Leporinus obtusidens* é considerado migrador de longa distância (Sato & Godinho, 2003)

Tabela 3 Lista das espécies de peixes coletados no reservatório da UHE Três Marias, bacia do rio São Francisco entre dezembro/2010 e dezembro/2011, com respectivo número total (N), abundância relativa de indivíduos (%). **✕** indica as espécies exóticas capturadas.

Táxon	N	%
CLUPEIFORMES		
Engraulidae		
<i>Anchoviella vaillanti</i> (Steindachner 1908)	2	0,38
CHARACIFORMES		
Acestrorhynchidae		
<i>Acestrorhynchus britski</i> (Menezes, 1969)	1	0,19
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	2	0,38
Anostomidae		
<i>Leporellus vittatus</i> (Valenciennes, 1850)	1	0,19
<i>Leporinus obtusidens</i> (Valenciennes, 1836)	2	0,38
<i>Leporinus reinhardti</i> (Lütken, 1875)	112	21,54
<i>Leporinus taeniatus</i> (Lütken, 1875)	4	0,77
<i>Skizodon knerii</i> (Steindachner, 1875)	10	1,92
Characidae		
<i>Astyanax bimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,19
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	11	2,12
<i>Bryconops affinis</i> (Günther, 1864)	10	1,92
<i>Metynis maculatus</i> (Kner 1858) ✕	1	0,19
<i>Pygocentrus piraya</i> (Cuvier, 1819)	3	0,58
Continua...		

“Tabela 3, conclusão”

<i>Salminus hilarii</i> (Valenciennes, 1850)	16	3,08
<i>Serrasalmus brandtii</i> (Lütken, 1875)	54	10,38
<i>Tetragonopterus chalceus</i> (Spix & Agassiz, 1829)	28	5,38
<i>Triportheus guentheri</i> (Garman, 1890)	4	0,77
Curimatidae	2	
<i>Curimatella lepidura</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)		0,38
Erythrinidae		
<i>Hoplias intermedius</i> (Günther, 1864)	15	2,88
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	1	0,19
PERCIFORMES		
Ciclidae		
<i>Cichla kelberi</i> (Kullander & Ferreira, 2006) ✘	58	11,15
<i>Cichla piquiti</i> (Kullander & Ferreira, 2006) ✘	7	1,35
GYMNOTIFORMES		
Sternopygidae		
<i>Eigenmannia virescens</i> (Valenciennes, 1847)	10	1,92
SILURIFORMES		
Doradidae	9	
<i>Franciscodoras marmoratus</i> (Reinhardt, 1874)		1,73
Loricariidae		
<i>Hypostomus margaritifer</i> (Regan, 1908)	25	4,81
Pimelodidae		
<i>Bergiaria westermanni</i> (Lütken, 1874)	18	3,46
<i>Pimelodus fur</i> (Lütken, 1874)	13	2,50
<i>Pimelodus maculatus</i> (La Cepède, 1803)	98	18,85
<i>Pimelodus pohli</i> (Ribeiro & Lucena, 2006)	2	0,38
Total Geral	520	100

A análise de nMDS indicou que a comunidade de peixes diferiu significativamente em relação à composição e abundância entre as profundidades de coleta (ANOSIM: $p=0.009$), mas não entre horários de despesca (ANOSIM: $p>0.05$) (Figura 9)

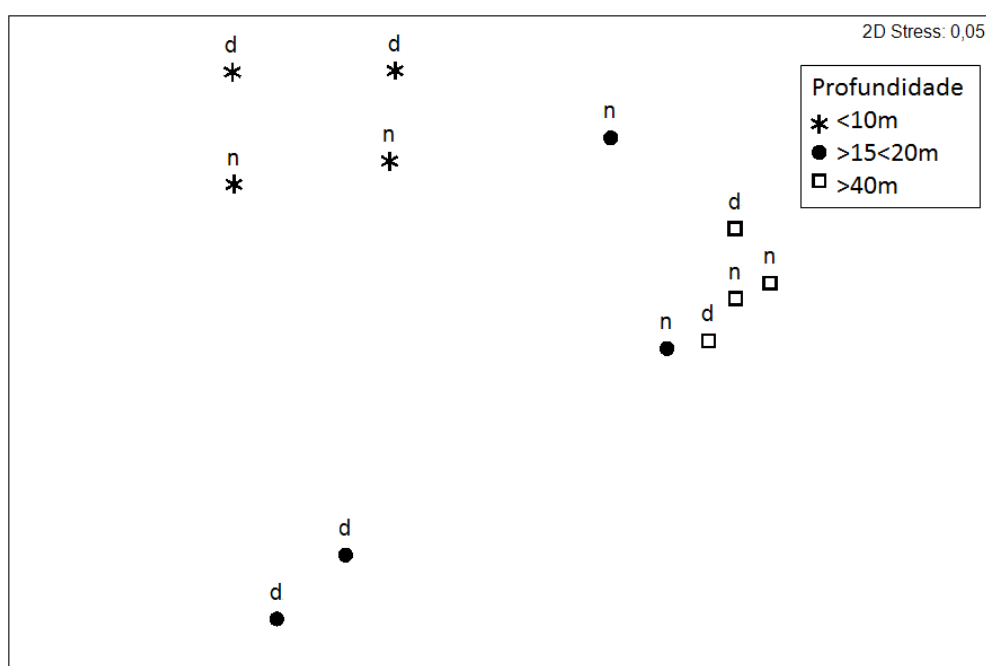


Figura 9 Resultado da análise multivariada (nMDS) para os peixes coletados, no reservatório da UHETM. Cada ponto representa uma amostragem. Os símbolos: * ● □ representam profundidades menores que 10 metros, entre 15 e 20 metros e superiores a 40 metros, respectivamente. d e n indicam o horário de despesca, dia e noite, respectivamente.

Pimelodus maculatus pode estar relacionado com a movimentação vertical de peixes, uma vez que foi mais capturado próximo à superfície durante a noite e em maiores profundidades durante o dia (Figura 10). *Cichla kelberi*,

Cihla piquiti, *Salminus hilarii*, *Leporinus reinhardti*, *Tetragonopterus chalceus* foram capturadas apenas nas redes armadas na superfície. Já *Franciscodoras marmoratus*, *Bergiaria westermanni*, *Pimelodus fur*, foram capturadas apenas nas redes de fundo.

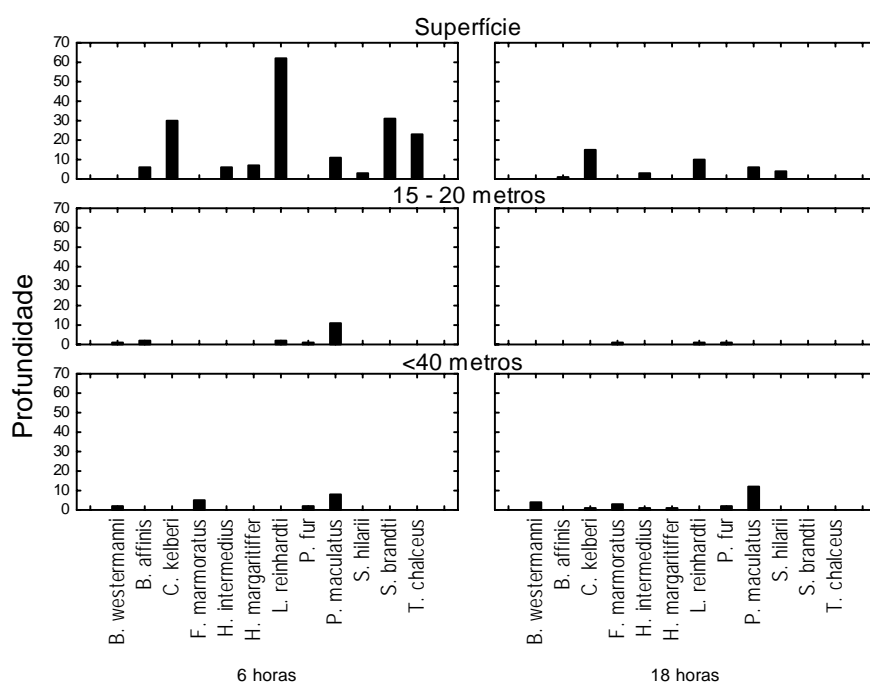


Figura 10 número de indivíduos capturados por horário e por profundidade para as 10 espécies mais abundantes nas coletas com redes de emalhar no reservatório da UHETM.

4 DISCUSSÃO

Os dados analisados sugerem a ocorrência de migração vertical diária dos peixes no reservatório da UHETM devido à diferença entre as profundidades médias observadas durante as amostragens realizadas durante os períodos noturnos e diurnos em todas as campanhas de coleta de dados hidroacústicos. O mesmo padrão de distribuição foi evidenciado em amostragens realizadas ao longo de áreas a montante dos pontos amostrais desse trabalho (Observação Pessoal). Esse fenômeno é bastante estudado em ambientes marinhos e água doce, principalmente na região temperada (Janssen & Brandt, 1980; Munk *et al.*, 1989; Levy, 1991, Hrabik *et al.*, 2006). No Brasil, a maioria dos estudos acerca dessa movimentação foi realizada com invertebrados planctônicos (Moreira, 1976; Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2002; Peticarrari *et al.*, 2004; Krumme, 2004; Silva *et al.*, 2009; Bezerra-Neto *et al.*, 2009; Ghidini & Santos-Silva, 2011). Essa movimentação de peixes em águas continentais brasileiras ainda não havia sido observada. Busch e Mehner (2009) denominam como normal ou clássico o padrão de distribuição verificado no estudo, onde os indivíduos se concentram nas camadas mais profundas durante o dia e próximos à superfície durante a noite.

Os resultados apresentados sugerem que a MVD ocorre durante todo o ano com variações nas amplitudes de movimentação e profundidades médias durante os meses amostrados. Tanto o fenômeno quanto as amplitudes de migração respondem diretamente a fatores bióticos e abióticos (Busch & Mehner 2009). Diversos mecanismos têm sido propostos para explicar a MVD e suas amplitudes. A otimização da obtenção de recursos, predação, fuga de predador, vantagens metabólicas (Brett 1971; Lucas & Barras, 2001; Scheuerell & Schindler, 2003; Stockwell *et al.* 2010; Jensen *et al.* 2011) estão entre os

principais mecanismos. Fases da lua (Luecke & Wurtsbaugh, 1993; Gaudreau & Boisclair, 2000), ou até mesmo a influência da luz artificial próximas aos corpos hídricos também tem sido levantados como possíveis fatores. Levy (1991) também sugere que a MVD de peixes geralmente acompanha a movimentação de presas planctônicas.

No presente trabalho, a transparência da água foi o único fator significativamente relacionado com a profundidade média dos peixes durante o dia. Diversos autores sugerem em seus trabalhos que a intensidade luminosa é a variável determinante para localização da comunidade de peixes na coluna d'água (Dodson, 1990; Rowe & Chisnall, 1995; Appenzeller & Legget 1995 ; Gal, 1999; Probst & Eckmann, 2009). Transparência da água está intimamente correlata com os mecanismos de predação e fuga da mesma (Stockwell *et al.*, 2010). Assim, a relação positiva existente entre a profundidade média dos peixes e a transparência da água pode ser resultado da movimentação dos peixes para áreas com menor intensidade luminosa como forma de reduzir os riscos de predação. Cabe salientar que, por ser um ambiente lântico, o reservatório de Três Marias apresenta transparência bem superior do que o rio São Francisco em condições naturais.

Outros estudos verificaram relação entre a movimentação vertical e características limnológicas que nesse trabalho não se relacionaram com as profundidades observadas como oxigênio dissolvido e temperatura (Luecke & Wurtsbaugh, 1993; Rowe & Chisnall, 1995; Stockwell *et al.* 2010; Jensen *et al.* 2011). Essa não relação entre as variáveis acima citadas pode ser explicada pela localização dos pontos amostrais (influência direta da operação da UHETM e pela presença de importantes tributários nas proximidades). As variações das profundidades apresentadas durante a noite podem estar relacionadas com fatores que nesse trabalho não foram avaliados.

A distribuição da reflexão acústica média dos traços de peixes mostrou que peixes com maiores valores e , conseqüentemente maior tamanho corporal (Love, 1971; Foote, 1987; Loures, 2011), foram detectados em maiores profundidades. Loures (2011) observou mesmo padrão em estudo realizado no rio São Francisco, a jusante da UHETM utilizando o mesmo equipamento.

Os resultados das diferenças entre a composição e abundância entre profundidades, bem como os das principais espécies capturadas em redes de emalhar mostram que alguns Characiformes e Perciformes ocupam apenas as regiões mais superficiais do reservatório, enquanto espécies de siluriformes ocuparam apenas as regiões mais profundas. Dentre as espécies mais abundantes nas coletas ativas *P. maculatus* parece ser a mais relacionada à MVD, uma vez que foi mais capturada nas redes de fundo durante o dia, pouco capturada nas redes de fundo durante a noite e com presença razoável durante dia e noite nas redes intermediárias. Além disso, ao contrário da comunidade como um todo, o mandi teve abundância similar tanto no período de seca quanto no de chuva.

O entendimento desse fenômeno, bem como o conhecimento dos principais fatores que o governam podem fornecer informações importantes para implementação de medidas de manejo e mitigação dos impactos gerados pela implantação de usinas hidrelétricas, como o conhecimento das épocas de maior risco de morte de peixes por passagem pelas turbinas. Passagem por turbina é problema negligenciado no Brasil, principalmente por ser responsável por relativamente baixa biomassa afetada e mortes esporádicas.

Em julho de 2011 foi verificada a presença de peixes (*P. maculatus* e *F. marmoratus*) com sinais de descompressão e choque mecânico no canal de fuga da UHETM (CEMIG, dados não publicados). Nesse mesmo mês a profundidade média dos traços de peixes no reservatório se aproximou da profundidade da

tomada d água da usina (cerca de 45 metros) sugerindo que a causa das mortes pode estar relacionada com a profundidade que os peixes se encontravam e a variáveis que a governa.

O conhecimento do fenômeno de MVD pode auxiliar na avaliação das metodologias aplicadas hoje para passagem de peixes, bem como proporcionar informações cruciais para implantação de mecanismos que visem a passagem de montante para jusante (propostas de melhores locais, épocas e horários). Além disso, tendo em vista esse padrão de movimentação, melhorias nas metodologias de monitoramentos de estoque pesqueiro e outros trabalhos que utilizam apenas um tipo de petrecho devem ser consideradas.

O aumento no número e qualidade dos trabalhos realizados em águas continentais de ambientes tropicais utilizando a ecossondagem como ferramenta poderá fornecer informações importantes, não só sobre a distribuição de peixes nesses ambientes, mas também de todo o funcionamento desses ecossistemas, principalmente para aqueles que sofrem grandes alterações como os reservatórios de hidrelétricas. O entendimento dos padrões de comportamento e respostas aos impactos podem, cada vez mais, apoiar os tomadores de decisão na implementação de medidas para mitigar esses impactos tanto na criação quanto na operação desses distúrbios.

REFERÊNCIAS

- Adams CF, Foy RJ, Kelley JJ, Coyle KO. 2009. Seasonal changes in the diel vertical migration of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the northern Gulf of Alaska. *Environmental Biology of Fishes* **86**: 297–305. DOI: 10.1007/s10641-009-9519-y.
- Aglen A, Engås A, Huse I, Michalsen K, Stensholt B. 1999. How vertical fish distribution may affect survey results. *ICES Journal of Marine Science*, **56**: 345-360. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0449.
- Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. 2007. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Eduem, 501p.
- ANA (Agencia Nacional de Água). 2009. *Água: edição comemorativa do ano 10 da Agencia Nacional de Água*. Brasília 264p.
- Appenzeller AR, Leggett WC. 1995. An evaluation of light-mediated vertical migration of fish based on hydroacoustic analysis of the diel vertical movements of rainbow smelt *Osmerus mordax*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**: 504–511. DOI: 10.1139/f95-051.
- Barletta M, Jaureguizar AJ, Baigun C, Fontoura NF, Agostinho AA, Almeida-Val VMF, Val AL, Torres RA, Jimenes-Segura LF, Giarrizzo T, Fabre NN, Batista VS, Lasso C, Taphorn DC, Costa MF, Chaves PT, Vieira JP, Correa MFM. 2010. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology* **76**: 2118–2176.
- Bezerra-Neto JF, Mello N, Maia-Barbosa PM, Pinto-Coelho RM. 2009. The role of predation in the diel vertical migration of zooplankton in two tropical freshwaters ecosystems. *Acta Limnologica Brasiliensia* **21**: 45-56.
- Bezerra-Neto JF, Pinto-Coelho RM. 2002. Migração vertical das larvas de *Chaoborus brasiliensis* (Theobald 1901) (Diptera, Chaoboridae) em um reservatório tropical: Lagoa do Nado, Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. *Acta Scientiarum* **24**: 329-336.
- BioSonics Inc. 2004. *Calibration of BioSonics Digital Scientific Echosounder using T/C calibration spheres*. Seattle. 11p.

Blackman SS. 1986. *Multiple-target tracking with radar applications*. Norwood, Massachusetts, Artech House Inc. 464 p.

Brandt SB. 1996. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In: *Fisheries Techniques* Murphy, R. B & D.W Willis (Ed.). American Fisheries Society. 732p.

Brett JR. 1971. Energetic response of salmon to temperature: a study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon. *American Zoologist*. **70**: 99-113

Britski HA, Sato Y, Rosa ABS. 1984. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias. Brasília: Câmara Dos Deputados/CODEVASF. 128 p.

Busch S, Mehner T. 2009. Hydroacoustic estimates of fish population depths and densities at increasingly longer time scales. *International Review of Hydrobiology* **94**(1): 91-102. DOI: 10.1002/iroh.200811092.

Cemig (Companhia Energética de Minas Gerais). 2006. *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.

Dodson SI. 1988. The ecological role of chemical stimuli for the zooplankton: Predator-avoidance behavior in *Daphnia*. *Limnology and Oceanography* **33**: 1431–1439.

Esteves FA, Amorim JC, Cardoso EL, Barbosa FAR. 1985. Caracterização limnológica preliminar da Represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Ciência e Cultura* **37**(4): 608-617.

Foote KG. 1987. Fish targets strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of America* **82**: 981–987.

Foote KG, Knudsen HP, Vestnes G, MacLennan DN, Simmonds EJ. 1987. *Calibration of Acoustic Instruments for Fish Density Estimation: A Practical Guide*. ICES, Copenhagen. 70 p.

Gal G, Loew ER, Rudstam LG, Mohammadian AM. 1999. Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **56**: 311-322. DOI: 10.1139/f98-174.

Gaudreau N, Boisclair D. 2000. Influence of moon phase on acoustic estimates of the abundance of fish performing daily horizontal migration in a small oligotrophic lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **57**: 581-590. DOI: 10.1139/f99-277.

Ghidini AR, Santos-Silva EN. 2012. Composition, species richness and patterns of nycthemeral vertical distribution of planktonic cladocereans in a black water Amazonian lake. *Nauplius* **18**: 101-119.

Guillard J. 1998. Daily migration cycles of fish populations in a tropical estuary Sine, Saloum, Senegal using a horizontal-directed split-beam transducer and multibeam sonar. *Fisheries Research* **35**: 23–31.

Hrabik TR, Jensen OP, Martell SJD, Walters CJ, Kitchell JF. 2006. 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

Hurst TP, Cooper DW, Scheingross JS, Seale EM, Laurel BJ, Spencer ML. 2009. Effects of ontogeny, temperature, and light on vertical movements of larval Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Fisheries Oceanography* **18**: 301–311. DOI: 10.1111/j.1365-2419.2009.00512.x.

Janssen J, Brandt SB. 1980. Feeding ecology and vertical migration of adult alewives (*Alosa pseudoharengus*) in Lake Michigan. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**(2): 177-184. DOI: 10.1139/f80-023.

Jensen OP, Hrabik TR, Martell SJD, Walters CJ, Kitchell JF. 2006. Diel vertical migration in the Lake Superior pelagic community. II. Modeling trade-offs at an intermediate trophic level. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **63**(10): 2296-2307.

Jensen OP, Hansson S, Didrikas T, Stockwell JD, Hrabik TR, Axenrot T, Kitchell JF. 2011. Foraging, bioenergetic, and predation constraints on diel vertical migration: field observations and modeling of reverse migration by young-of-year herring *Clupea harengus*. *Journal of Fish Biology*. **78**: 449-465

Jurvelius J, Kolari Leskelä I. 2011. Quality and status of fish stocks in lakes: gillnetting, seining, trawling and hydroacoustics as sampling methods. *Hydrobiologia* **660**:29-36. DOI: 10.1007/s10750-010-0385-6.

Krumme U. 2004. Patterns in tidal migration of fish in a Brazilian mangrove channel as revealed by a split-beam echosounder. *Fisheries Research* **70**:1-15.

Levy DA. 1991. 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. DOI: 10.1139/f91-010.

Loures RCF. 2011. 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. 108p.

Love RH. 1971. Dorsal aspect target strength of an individual fish. *Journal of the Acoustical Society of America* **49**:816–823.

Lucas MC, Baras E. 2001. *Migration of freshwater fishes*. Osney Mead, Blackwell Science, 420p.

Luecke C, Wurtsbaugh WA. 1993. Effects of moonlight and daylight on hydroacoustic estimates of pelagic fish abundance. *Transactions of the American Fisheries Society* **122**: 112–120.

Mehner T, Kasprzak P, Hölker F. 2007. Exploring ultimate hypotheses to predict diel vertical migrations in coregonid fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **64**: 874–886. DOI: 10.1139/F07-067.

Moreira GS. 1976. Sobre a migração vertical diária do plâncton ao largo de Santos, Estado de São Paulo, Brasil. *Brazilian Journal of Oceanography* **25**(1): 55-76

Munk P, Kiorboe T, Christensen V. 1989. Vertical migrations of herring, *Clupeaharengus*, larvae in relation to light and prey distribution. *Environmental Biology of Fishes* **26**: 87–96

Neverman D, Wurtsbaugh WA. 1994. The thermoregulatory function of diel vertical migration for a juvenile fish, *Cottus extensus*. *Oecologia* **98**: 247–256. DOI: DOI: 10.1007/BF00324211.

- Parker-Stetter SL, Rudstam LG, Sullivan PJ, Warner DM. 2009. *Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes*. Great Lakes Fishery Commission Special Publication. 180p.
- Perticarrari A, Arcifa MS, Rodrigues RA. 2004. Diel vertical migration of copepods in a Brazilian lake: A mechanism for decreasing risk of Chaoborus predation? *Brazilian Journal of Biology* **64**: 289-298.
- Probst WN, Eckmann R. 2009. The influence of light on the diel vertical migration of young-of-the-year burbot *Lota lota* in Lake Constance. *Journal of Fish Biology* **74**: 150–166. DOI:10.1111/j.1095-8649.2008.02120.x.
- Rechencq M, Sosnovsky A, Macchi P, Alvear P, Vigliano P. 2011. Extensive diel fish migrations in a deep ultraoligotrophic lake of Patagonia Argentina. *Hydrobiologia* **658**(1): 147-161. DOI: 10.1007/s10750-010-0458-6.
- Rowe DK, Chisnall BL. 1995. Effects of oxygen, temperature and light gradients on the vertical distribution of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in two North Island, New Zealand, lakes differing in trophic status, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* **29**(3): 421-434
- Sampaio EV, López CM. 2003. Limnologias física, química e biológica da represa de Três Marias e do São Francisco. In: *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*, Godinho HP, Godinho AL (ed.). Belo Horizonte: PUC Minas. 71–92.
- Sato Y, Godinho HP. 2003. Migratory fishes of the São Francisco River. In: *Migratory fishes of South America: biology, fisheries, and conservation status*. Carolsfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A. (Ed.). World Fisheries Trust. Victoria. 199–232.
- Scheuerell MD, Schindler DE. 2003. Diel vertical migration by juvenile sockeye salmon: empirical evidence for the antipredation window. *Ecology* **84**(7): 1713-1720
- Semyalo R, Nattabi JK, Larsson P. 2009. Diel vertical migration of zooplankton in a eutrophic bay of Lake Victoria. *Hydrobiologia* **635**, 383–394. DOI: 10.1007/s10750-009-9931-5.
- Silva AMA, Medeiros PR, Silva MCBC, Barbosa JEL. 2009. Diel vertical migration and distribution of zooplankton in a tropical Brazilian reservoir. *Biotemas* **22**(1): 49-57

Simmonds EJ, MacLennan DN. 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*, 2ed. Blackwell, Oxford. 413p.

Sims DW, Wearmouth VJ, Southall EJ, Hill JM, Moore P, Rawlinson K, Hutchinson N, Budd GC, Righton D, Metcalfe JD, Nash JP, Morritt D. 2006. Hunt warm, rest cool: bioenergetic strategy underlying diel vertical migration of a benthic shark. *Journal of Animal Ecology* **75**, 176–190.

Spinelli JP. 2010. 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.

Stensholt B, Aglen A, Mehl S, Stensholt E. 2002. Vertical density distributions of fish, a balance between environmental and physiological limitation. *ICES Journal of Marine Science* **59**: 679-710. DOI:10.1006/jmsc.2002.1249

Stockwell JD, Hrabik TR, Jensen OP, Yule DL, Balge M. 2010. Empirical evaluation of predator-driven diel vertical migration in Lake Superior. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **67**:473-485. DOI: 10.1139/F09-198

Taylor JC, Maxwell SL. 2007. Hydroacoustics: Lakes and Reservoirs. In: *Salmonid Field Protocols Handbook: Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*, Johnson DH (Org.). Herndon: American Fisheries Society in association with State of the Salmon. 153-172.

Zwolinski J, Morais A, Marques V, Stratoudakis Y, Fernandes PG. 2007. Diel variation in the vertical distribution and schooling behaviour of sardine (*Sardina pilchardus*) off Portugal. *ICES Journal of Marine Science* **64**:963–9726. DOI: 10.1093/icesjms/fsm075

Yule DL. 2000. Comparison of horizontal acoustic and purse-seine estimates of salmonid densities and sizes in eleven Wyoming waters. *North American Journal of Fisheries Management* **20**:759–775.

Weng KC, Block BA. 2004. Diel vertical migration of the bigeye thresher shark (*Alopias superciliosus*), a species possessing orbital retia mirabilia. *Fishery Bulletin* **102**: 221–229.

Wojtal-Frankiewicz A, Frankiewicz P, Jurczak T, Grennan J, Mccarthy TK. 2010. Comparison of fish and phantom midge influence on cladocerans diel vertical migration in a dual basin lake. *Aquatic Ecology* **44**: 243–254.

ARTIGO 2

Viabilidade de utilização do vertedouro como possível rota de descida de peixes pela UHE Três Marias

RESUMO

Possibilitar o livre trânsito de peixes após a construção de barramentos para produção de energia hidrelétrica é um dos maiores desafios para a proteção da ictiofauna. A passagem de montante para jusante ainda é muito pouco estudada, mesmo sendo um fator crucial para o sucesso das estratégias de mitigação desse impacto. Este trabalho teve como objetivo avaliar as principais épocas e períodos de maior concentração de peixes imediatamente a montante da UHE Três Marias, bem como as espécies presentes no seu reservatório, utilizando a hidroacústica como ferramenta. Dezoito campanhas de coletas de dados hidroacústicos e com redes de emalhar foram realizadas durante 24 horas com seis horas de intervalo entre amostragens para a hidroacústica e 12 horas para redes de emalhar em cada amostragem. O estágio de maturação gonadal das espécies migradoras foi avaliado. Os resultados encontrados sugerem que o período noturno dos meses chuvosos seria o mais apropriado para realizar abertura das comportas do vertedouro visando a passagem de peixes, uma vez que uma pequena concentração de peixes frequenta a região do vertedouro durante o dia e maior concentração de peixes e espécies migradoras pós desova foram capturadas no período chuvoso. A utilização da hidroacústica se mostrou eficaz na avaliação da distribuição dos peixes na área amostral e possibilitou concluir que a abertura das comportas do vertedouro pode ser uma alternativa eficiente para possibilitar a passagem de parte dos peixes do reservatório para o trecho livre a jusante.

Palavras-chave: Passagem de peixes. Hidroacústica. Vertedouro. Barragens. Rotas migratórias.

ABSTRACT

Allowing the free communication between the two new environments created after the construction of dams for hydropower production is one of the biggest challenges for the fish protection. Knowledge on fish passage from upstream to downstream is still insipient, despite being a crucial factor for the success of mitigation strategies of this impact. This study aimed to assess the main seasons and periods of greatest concentration of fish immediately upstream of the UHETM, as well as the species present in the reservoir, using hydroacoustics as a tool. Eighteen field samples of hydroacoustic and gill nets data collections were held for 24 hours with six hours between sampling for hydroacoustic and 12 hours for gill nets in each sample. The stage of gonadal maturation of migratory species was evaluated. The results suggest that the night period of the rainy season would be the more appropriate period to carry out opening of the spillway gates in order to allow fish passage, since a small concentration of fish goes to the spillway region during the day and higher concentration of fish and spawned migratory species were captured during the rainy season. The use of hydroacoustics proved to be very effective in evaluating the distribution of fish in the sampled area and allowed us to conclude that the opening of spillway gates can be an alternative to improve the passage of the fish from the reservoir to the downstream stretch.

Keywords: Fish passage. Hydroacoustics. Spillway. Dams. Migratory routes.

1 INTRODUÇÃO

A construção de usinas hidrelétricas em rios brasileiros tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas (ANEEL, 2008). Esses empreendimentos são responsáveis por fortes e irreversíveis mudanças nos cursos d'água (Agostinho *et al.*, 2007a). A interrupção da conectividade entre os sítios de alimentação e reprodução é um dos principais impactos proveniente dessa mudança no ambiente (Godinho & Kynard, 2009; Dugan *et al.*, 2010) e afeta principalmente as espécies de piracema. Essas espécies são conhecidas por realizarem migrações reprodutivas rio acima e posteriormente, retornam para seus sítios de alimentação.

Visando atenuar esse efeito adverso sobre a movimentação dos peixes migradores, desde o início do século vinte, Mecanismos de Transposição de Peixes (MTP's) tem sido projetados para novos empreendimentos e implantados em instalações já em operação (Agostinho *et al.*, 2011). No entanto, esses sistemas têm como principal intuito a passagem de peixes de jusante para montante, não levando em consideração a necessidade de retorno dos adultos após a desova e a descida dos juvenis, ovos e larvas.

A passagem de peixes do reservatório para o trecho livre a jusante do barramento tem sido um dos principais focos dos estudos recentes sobre transposição de peixes na América do Norte e Europa (Larinier, 2002). Problemas associados a impactos causados pela passagem por turbinas, vertedouros e MTP podem afetar diretamente o sucesso dessa medida e também na integridade destas populações (Cada, 2001).

Os MTP nos moldes de via única, como os que vêm sendo implementados, além de muitas vezes não atender nem ao objetivo proposto (passagem de jusante para montante), podem funcionar como armadilhas

ecológicas (Pelicice & Agostinho, 2008). Os MTP para passagem de peixes de montante para jusante são inexistentes no Brasil e a tecnologia existente para essa modalidade é menos avançada. Esse fato se deve ao reconhecimento tardio desse problema e a complexidade no desenvolvimento de mecanismos com esse objetivo (Larinier & Travade, 2002).

Devido à dificuldade de implantação de mecanismos que viabilizem a descida de peixes, alguns autores têm sugerido a utilização de rotas alternativas para esse fim. Dentre elas, a mais citada e com menor risco para a integridade física dos peixes, sem que haja a necessidade de modificações nas estruturas civis do empreendimento, é o vertedouro (Ruggles & Murray, 1983; Skalski *et al.*, 1998; Larinier, 2008).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as principais épocas e períodos de acumulação de peixes, bem como as espécies presentes no reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Marias (UHETM), próximos a região do vertedouro, utilizando a hidroacústica como ferramenta, bem como a possibilidade de passagem segura de peixes para jusante, através desta estrutura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudos

O reservatório de Três Marias está localizado no alto rio São Francisco, Minas Gerais entre as coordenadas S 18° 12' 51" W 45° 15' 51". Na região existem duas estações bem definidas: a estação chuvosa (entre outubro e março), no verão, e outra seca (entre abril e setembro), no inverno. A pluviosidade média anual é de 1200 a 1300 mm e a temperatura média anual é de 21,9°C (Esteves *et*

al., 1985). O trimestre mais chuvoso (novembro, dezembro e janeiro) contribui com cerca de 55 a 60% do total anual precipitado. Já o trimestre mais seco, correspondente aos meses de junho, julho e agosto, contribui com menos de 5% da precipitação anual (ANA, 2004). O reservatório é do tipo monomítico quente (Esteves *et al.*, 1985) apresentando estratificação térmica apenas no verão.

A Usina Hidrelétrica de Três Marias (UHETM) foi construída no período de 1957 a 1960 com objetivos de regularização do rio São Francisco, navegação, controle de cheias, irrigação e produção de energia hidrelétrica. A UHETM entrou em operação em 1962. O barramento possui área aterrada de 2.7 quilômetros e altura máxima de 75 metros. 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 às comportas do vertedouro.

A potência instalada é de 396 MW, com seis turbinas do tipo Kaplan, e vazão turbinada máxima de 150 m³/s em cada uma. O vertedouro é do tipo superfície controlada e superfície revestida, com sete comportas com capacidade máxima total de 8.700m³/s (CEMIG, 2006). Apesar do grande reservatório, vertimentos pela barragem são comuns durante o período chuvoso. (Figura 11).

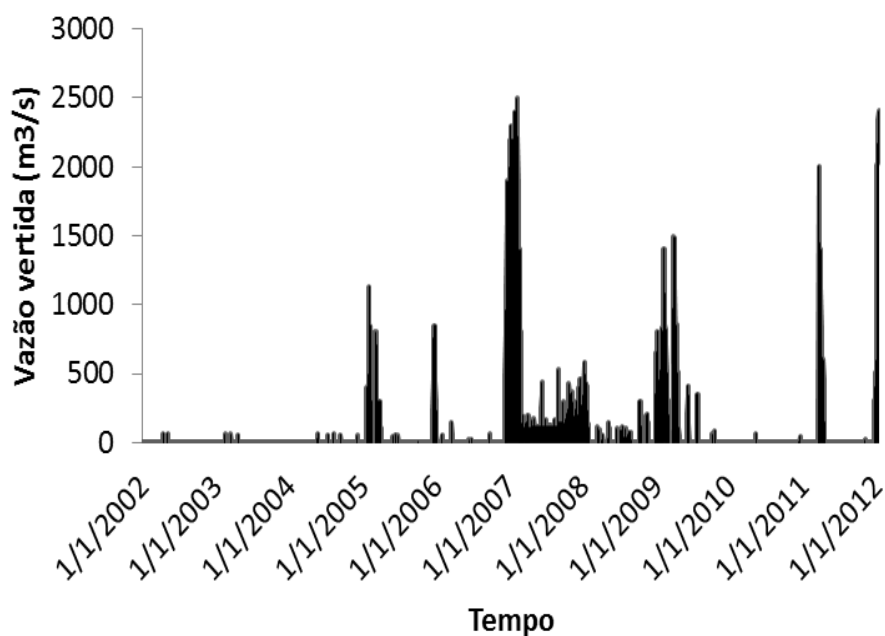


Figura 11 Volume de água vertido ($\text{m}^3/\text{seg.}$) pelas comportas do vertedouro da UHETM entre jan/2002 e jan/2012

2.2 Dados Hidroacústicos

Foram realizadas amostragens imediatamente a montante das comportas do vertedouro e da tomada d'água da UHETM (Figura 12). Estas foram iniciadas na segunda quinzena de dezembro de 2010 e finalizadas na primeira quinzena de dezembro de 2011. As coletas de dados hidroacústicos ocorreram quinzenalmente no período chuvoso e mensalmente no período seco, sendo sempre realizadas às 6, 12, 18 e 24 horas, englobando os períodos crepusculares, diurnos e noturnos com intervalos de seis horas entre cada coleta. Todas as quatro coletas de dados de cada amostragem foram realizadas no mesmo dia, totalizando 72 coletas em 18 amostragens. Para obtenção dos dados de

ecossondagem a área de estudo foi amostrada utilizando uma ecossonda, Biosonics Científica Digital DT-X, equipada com um transdutor digital DT-X splitbeam 6°, 120 kHz instalada a uma estrutura lateral no barco, ficando a aproximadamente 0,5m abaixo da superfície da água e com o feixe do sonar orientado verticalmente, em direção ao fundo do reservatório (Figura 13). Essa configuração permite a amostragem de toda a coluna d'água (da superfície ao fundo) durante a realização dos transectos. À ecossonda foi acoplado um sistema de posicionamento global diferencial (DGPS), com antena de alta sensibilidade 17X NMEA 0183 HVS Garmin. As áreas amostrais foram percorridas com a embarcação adaptada para a aquisição de dados acústicos. Na área próxima ao vertedouro foram realizados quatro transectos paralelos de 150 metros de comprimento com 50 metros de distância entre eles. Próximo à tomada d'água foram oito transectos paralelos com 150 metros de comprimento com espaçamento de 40 metros entre eles. Durante a realização dos transectos a ecossonda emite e recebe sinais hidroacústicos que variam de acordo com as profundidades máximas esperadas (5 pulsos por segundo na região do vertedouro e 12 na região da tomada d'água).



Figura 12 Imagem da Usina Hidrelétrica de Três Marias e parte de seu reservatório. Em destaque a área amostral.

O software Visual Acquisition, versão 6.0 (Biosonics Inc., 2010) foi utilizado para recepção, visualização e armazenamento dos dados. O equipamento foi calibrado através do uso de uma esfera de carboneto de tungstênio conforme procedimentos recomendados por Foote et al. (1987) e BioSonics Inc. (2004).

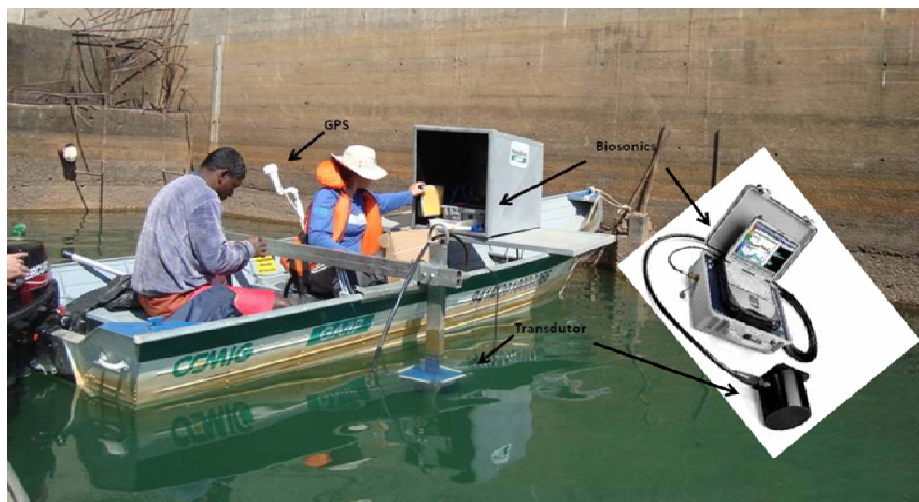


Figura 13: Barco adaptado para aquisição de dados de hidroacústica.

O grau de cobertura e coeficiente de variação, valores relacionados com a comprovação da eficiência do desenho amostral, além do número, espaçamento e comprimento dos transectos, foram avaliados e propostos segundo Simmonds e MacLennan (2005) e Parker-Stetter et al. (2009). O desenho amostral é exemplificado na Figura 14. Além disso, os valores utilizados para a configuração do equipamento de aquisição dos dados de hidroacústica também seguiram as recomendações de Simmonds e MacLennan (2005) e Parker-Stetter et al. (2009) (Tabela 4).

Os dados hidroacústicos coletados foram processados no software Echoview versão 4.8, Myriax. A abundância de peixes foi determinada a partir da ecocontagem de traços de peixes e eointegração.



Figura 14 Representação do desenho amostral da coleta de dados hidroacústicos. As linhas paralelas representam os transectos realizados.

Tabela 4 Valores definidos para o desenho amostral e configurações para as coletas de dados no reservatório da UHETM utilizando a ferramenta hidroacústica

Características	Valores	
	Vertedouro	Tomada dá água
Comprimento de cada transecto (m)	150	150
Número de transectos por amostragem	4	8
Espaçamento entre os transectos (m)	50	40
Grau de cobertura	7,950	6,98
Coefficiente de variação	0,25	0,25
Desenho do transecto		Paralelo
Duração do pulso		0,4 ms
Limiar de energia acústica (<i>Threshold</i>)		-100 dB
Pings por segundo	5	12
Largura do feixe entre		3dB e -3 dB 6° x 6°

A ecocontagem foi utilizada quando os ecos de peixes individuais não se sobrepunham (Simmonds & MacLennan, 2005). Para a detecção dos traços de peixes foi utilizado pelo software o algoritmo de Blackman (1986) Para ser considerado um traço de peixe é necessário, no mínimo, três ecos individuais de um mesmo peixe distantes em, no máximo, três pings uns dos outros. Alvos com valores de reflexões acústicas superiores a -65dB foram considerados como peixes, uma vez que esses valores geralmente variam de -25 a -65dB para esses organismos (Brandt, 1996). Valores médios de reflexão acústica foram calculados para cada traço de peixe.

Quando foram verificadas altas concentrações de peixes ou aglomerações, foi adotada a técnica chamada ecointegração (Taylor & Maxwell, 2007). A ecointegração permite a quantificação de peixes quando os mesmo estão muito próximos entre si o que não possibilita sua contagem. O cálculo da densidade por área da agregação foi feito segundo a equação proposta por Parker-Stetter e colaboradores (2009), que relaciona a área da agregação e o valor de reflexão acústica médio daquela amostragem (Loures, 2011) possibilitando estimar o número de peixes presentes naquela região analisada.

2.3 Dados abióticos

Antes de toda coleta de dados foram feitas medições das condições físico-químicas da água (pH, temperatura, OD e turbidez) utilizando uma sonda multiparâmetros YSI 556 MPS na sub superfície do reservatório sempre próximo ao local de início dos transectos. Valores de transparência da água foram obtidos através de um Disco de Secchi Dados de vazão vertida, turbinada,

nível do reservatório e pluviosidade na região, referentes ao período de amostragem do projeto, foram obtidos junto à CEMIG GT.

2.4 Dados biológicos

Para validação e maior aceitação dos resultados obtidos através da coleta de dados utilizando as ferramentas da hidroacústica, é recomendada a realização de coletas ativas de peixes na região do trabalho para obtenção de informação sobre composição de espécies e tamanho real dos peixes (Guillard, 1998; Yule, 2000, Spinelli, 2010; Jurvelius *et al.*, 2011). Aglen e colaboradores (1999) sugerem a complementaridade das duas técnicas para avaliações da distribuição de peixes, uma vez que os principais pontos negativos de um são supridos pelo outro.

Por isso, concomitante às coletas de dados através da eco sondagem, três conjuntos de redes de emalhar com malhas de 3,4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 e 16 cm entre nós opostos e 10 metros lineares de comprimento foram armadas durante 24 horas, e vistoriadas as 18 e 06 horas permanecendo armadas por 12 horas até cada despesca. As baterias de redes foram dispostas em três diferentes profundidades: inferior a 5 metros, entre 10 e 20 metros e superior a 40 metros com auxílio de boias e poitas.

A Captura por Unidade de Esforço (CPUE) foi então calculada através da seguinte fórmula: $CPUE = \text{Número de indivíduos capturados} / \text{esforço amostral (m}^2 \text{ de rede de emalhar)}$ multiplicado por 100 para cada coleta e para dia e noite.

Os indivíduos coletados foram anestesiados com óleo de cravo da Índia, sacrificados, fixados em formalina 10% e identificados segundo Britski e colaboradores (1984). Posteriormente, foram conservados em álcool 70° e lotes

testemunhos foram depositados na Coleção Ictiológica da Universidade Federal de Lavras – CI-UFLA. Peixes migradores, mesmo que de pequenas distâncias, tiveram a identificação macroscópica dos estádios de maturação gonadal efetuada segundo escala proposta por Vazzoler (1996): 1 (imaturo ou em repouso), 2 (em maturação), 3 (maduro ou em reprodução), 4 (esvaziado).

Na UHETM é prática comum realizar resgate dos peixes que eventualmente ficam aprisionados na calha do vertedouro (área entre as comportas e a bacia de dissipação – antes de chegarem ao rio a jusante) após o fechamento de suas comportas. Assim, avaliação da possibilidade de passagem segura de peixes por esta estrutura foi realizada através da taxa de sobrevivência e avaliação das eventuais injúrias nestes exemplares. Foram avaliados dois episódios pós-fechamento do vertedouro, em Abril de 2011 e Março de 2012. Após o fechamento das comportas, uma equipe de resgate vistoriou toda área e os peixes aprisionados foram capturados através de redes de arrasto e tarrafa, tiveram suas injúrias externas avaliadas (perda de escamas, hematomas, presença de bolhas nas escamas e brânquias, etc.) e posteriormente soltos de volta ao reservatório.

2.5 Análise de dados

Para a verificação da diferença entre a profundidade média dos traços de peixe durante as coletas realizadas durante o dia (6 e 12 horas) e a noite (18 e 24 horas) o teste não paramétrico Kruskal-Wallis foi utilizado. O mesmo teste foi utilizado para avaliar a diferença entre a abundância dos traços de peixes durante o dia e noite e entre as estações seca e chuvosa.

Os valores de profundidades médias dos traços de peixes na região do vertedouro foram cruzados com os de profundidade máxima da região imediatamente a montante das comportas do vertedouro da UHETM.

A relação entre as condições operativas da UHETM durante a realização das amostragens com a abundância de traços de peixes foi avaliada através de uma matriz de correlação. Além disso, visando avaliar a existência de relação entre as variáveis limnológicas e a profundidade média dos traços de peixes durante o dia e noite uma matriz de correlação também foi criada.

As análises acima citadas foram realizadas através do software Statistica 10.0 (StatSoft, 2010), sendo adotado o nível de significância de 0,05.

3 RESULTADOS

Durante todas as coletas de dados hidroacústicos foi observado o fenômeno chamado Migração Vertical Diária (MVD). Tal movimentação é caracterizada pela concentração de peixes próximos a superfície durante a noite e em maiores profundidades durante o dia (Figura 15). Apenas durante os meses de Janeiro, Março e Abril as medianas da profundidade dos traços de peixes durante o período diurno na região a montante das comportas do vertedouro foram menores que a sua profundidade máxima (Linha em destaque na figura 16). Nos outros meses foi verificado pouco, ou nenhum peixe nessa mesma região. No período noturno as medianas dos traços de peixes estiveram sempre acima da profundidade máxima.

Não foi verificada a existência de correlação entre as variáveis limnológicas temperatura, oxigênio dissolvido e pH e a profundidade dos traços de peixes durante o dia e a noite (Tabela 5). As condições operativas da UHETM e o número de traços de peixes detectados para cada amostragem não apresentaram valores significativos de correlação (Tabela 6).

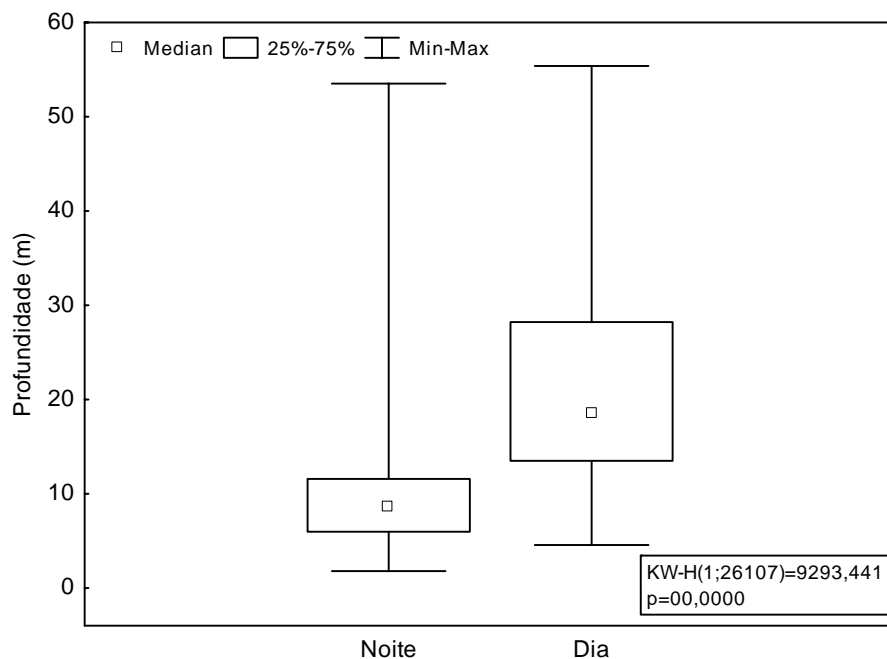


Figura 15 Medianas das profundidades dos traços de peixes durante o dia (transectos das 6 e 12 horas) e a noite (transectos das 18 e 24 horas)

De forma geral, foi observada maior abundância de peixes à noite, ao longo de todo o ano ($p = 0.048$). Os meses chuvosos também apresentaram maior abundância de peixes que a estação seca, mas esta não foi significativa ($p=0.08$). A distribuição dos peixes nos diferentes horários para todos os meses e profundidades é mostrada na figura 17. O mês de maio apresentou a maior concentração de peixes do período seco.

Os valores de reflexão acústica dos traços de peixes detectados variaram de -64,8 e -25,3 dB, indicando que tanto adultos de peixes de pequeno porte quanto juvenis de peixes de grande e médio porte podem estar presentes na área amostrada.

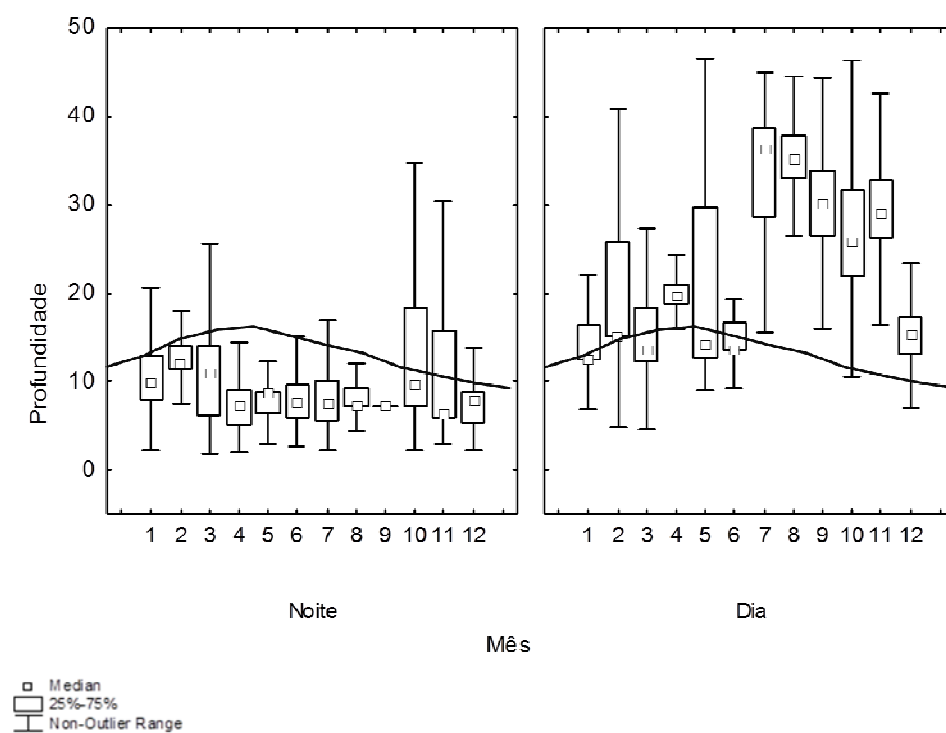


Figura 16 Medianas das profundidades médias dos traços de peixes durante o dia (6 e 12 horas) e noite (18 e 24 horas) nos meses amostrados (1=Janeiro; 2=Fevereiro e consecutivamente). A linha em destaque mostra a profundidade máxima imediatamente a montante das comportas do vertedouro da UHETM.

Tabela 5 Matriz de correlação entre as variáveis limnológicas coletadas (durante o dia e a noite) e os valores de profundidade média durante o dia e a noite. Para todos os dados $p > 0,05$.

	Profundidade média dia	Profundidade média noite
Ph dia	0,09	-0,08
OD dia	-0,13	0,12
Temp. dia	-0,27	0,38
Ph noite	-0,06	0,11
OD noite	-0,22	0,20
Temp. noite	-0,09	0,38

Tabela 6 Matriz de correlação entre as condições operativas da UHETM e o número de traços de peixes detectados pela hidroacústica. Para todos os dados $p > 0,05$.

	Número de traços de peixes
Volume útil	0.08
Afluência	-0.15
Vazão Turbina	-0.30
Vazão Vertida	-0.19
Descarga total	-0.25

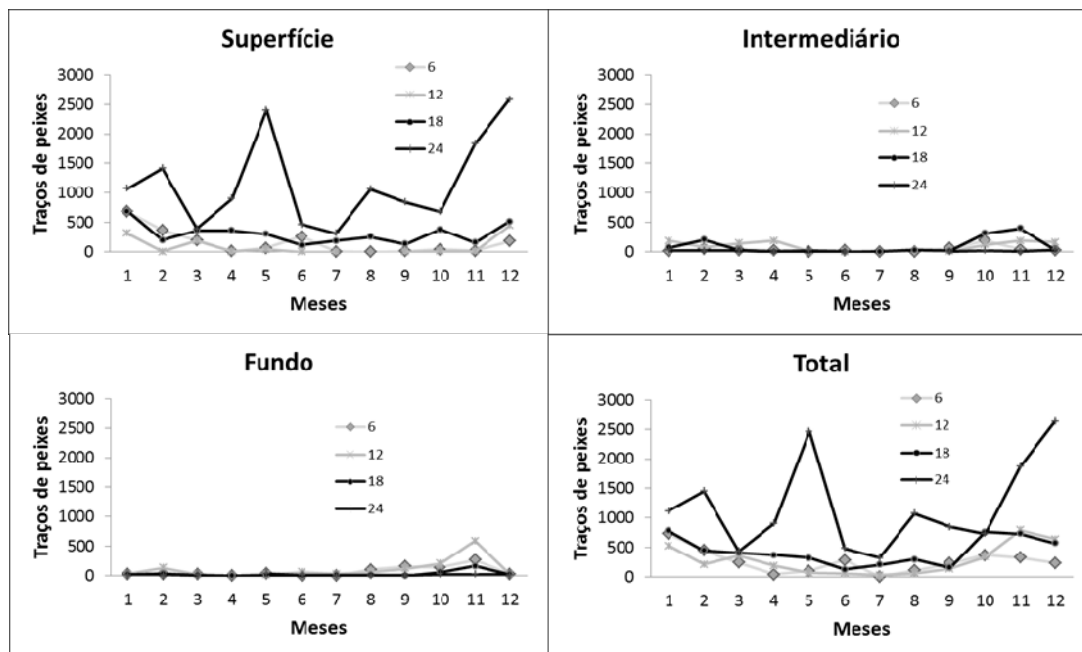


Figura 17 Abundância de traços de peixes na superfície (até 15 metros) profundidade intermediária (entre 15 e 30 metros) e no fundo (abaixo de 30 metros) por horário de coleta (6, 12, 18 e 24 horas) durante meses de coleta de dados hidroacústicos no reservatório da UHETM. O mês 1 representa janeiro e consecutivamente.

Nas coletas utilizando redes de emalhar foram capturados 520 indivíduos de 29 espécies pertencentes a 11 famílias e 5 ordens (Tabela 5). Dessas espécies, *Leporinus reinhardti*, *Salminus hilarii* e *Pimelodus maculatus* são conhecidos por realizar movimentos migratórios durante o período reprodutivo, mesmo que de pequena distância (Godinho & Godinho, 2003).

Tabela 7 Lista das espécies de peixes coletados no reservatório da UHE Três Marias, bacia do rio São Francisco entre dezembro/2010 e dezembro/2011, com respectivo número total (N), abundância relativa de indivíduos (%). **X** indica as espécies exóticas capturadas e \updownarrow representa as espécies migradoras .

Táxon	N	%
CLUPEIFORMES		
Engraulidae		
<i>Anchoviella vaillanti</i> (Steindachner 1908)	2	0,38
CHARACIFORMES		
Acestrorhynchidae		
<i>Acestrorhynchus britski</i> (Menezes, 1969)	1	0,19
<i>Acestrorhynchus lacustris</i> (Lütken, 1875)	2	0,38
Anostomidae		
<i>Leporellus vittatus</i> (Valenciennes, 1850)	1	0,19
<i>Leporinus obtusidens</i> (Valenciennes, 1836) \updownarrow	2	0,38
<i>Leporinus reinhardti</i> (Lütken, 1875) \updownarrow	112	21,54
<i>Leporinus taeniatus</i> (Lütken, 1875)	4	0,77
<i>Skizodon knerii</i> (Steindachner, 1875)	10	1,92
Characidae		
<i>Astyanax bimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,19
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier, 1819)	11	2,12
<i>Bryconops affinis</i> (Günther, 1864)	10	1,92
<i>Metynis maculatus</i> (Kner 1858) x	1	0,19
<i>Pygocentrus piraya</i> (Cuvier, 1819)	3	0,58
<i>Salminus hilarii</i> (Valenciennes, 1850) \updownarrow	16	3,08
<i>Serrasalmus brandtii</i> (Lütken, 1875)	54	10,38
<i>Tetragonopterus chalceus</i> (Spix & Agassiz, 1829)	28	5,38
Continua...		

Tabela 7, conclusão

<i>Triportheus guentheri</i> (Garman, 1890)	4	0,77
Curimatidae	2	
<i>Curimatella lepidura</i> (Eigenmann & Eigenmann, 1889)		0,38
Erythrinidae		
<i>Hoplias intermedius</i> (Günther, 1864)	15	2,88
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	1	0,19
PERCIFORMES		
Ciclidae		
<i>Cichla kelberi</i> (Kullander & Ferreira, 2006) ✕	58	11,15
<i>Cichla piquiti</i> (Kullander & Ferreira, 2006) ✕	7	1,35
GYMNOTIFORMES		
Sternopygidae		
<i>Eigenmannia virescens</i> (Valenciennes, 1847)	10	1,92
SILURIFORMES		
Doradidae	9	
<i>Franciscodoras marmoratus</i> (Reinhardt, 1874)		1,73
Loricariidae		
<i>Hypostomus margaritififer</i> (Regan, 1908)	25	4,81
Pimelodidae		
<i>Bergiaria westermanni</i> (Lütken, 1874)	18	3,46
<i>Pimelodus fur</i> (Lütken, 1874)	13	2,50
<i>Pimelodus maculatus</i> (La Cepède, 1803) ⚡	98	18,85
<i>Pimelodus pohli</i> (Ribeiro & Lucena, 2006)	2	0,38
Total Geral	520	100

As Capturas por Unidade de Esforço (CPUE) foram baixas de abril a julho e maiores nos meses chuvosos. Nestes meses, as despesas realizadas durante a manhã tiveram maior sucesso de captura (Figura 18). Não foram observadas relações significativas entre as abundâncias de peixes e os parâmetros limnológicos medidos ($p>0.05$)

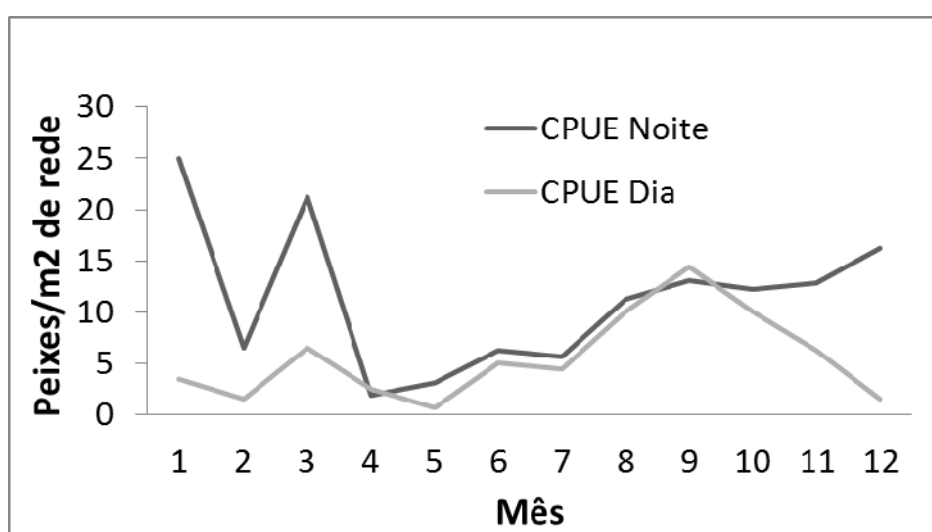


Figura 18 Captura por Unidade de Esforço (CPUE) durante o dia e a noite nos meses em que foram realizadas coletas de dados com redes de emalhar no reservatório da UHETM.

As espécies migradoras *L. reinhardti* e *P. maculatus* estiveram entre as espécies mais capturadas durante o período noturno (Figura 19). Durante o período chuvoso, a maior parte dos indivíduos dessas espécies acima citadas e *S. hilarii* encontrava-se em estágio de maturação pós-reprodução (esgotado). Por outro lado, indivíduos imaturos ou em repouso foram mais capturados a partir de junho (Figura 20).

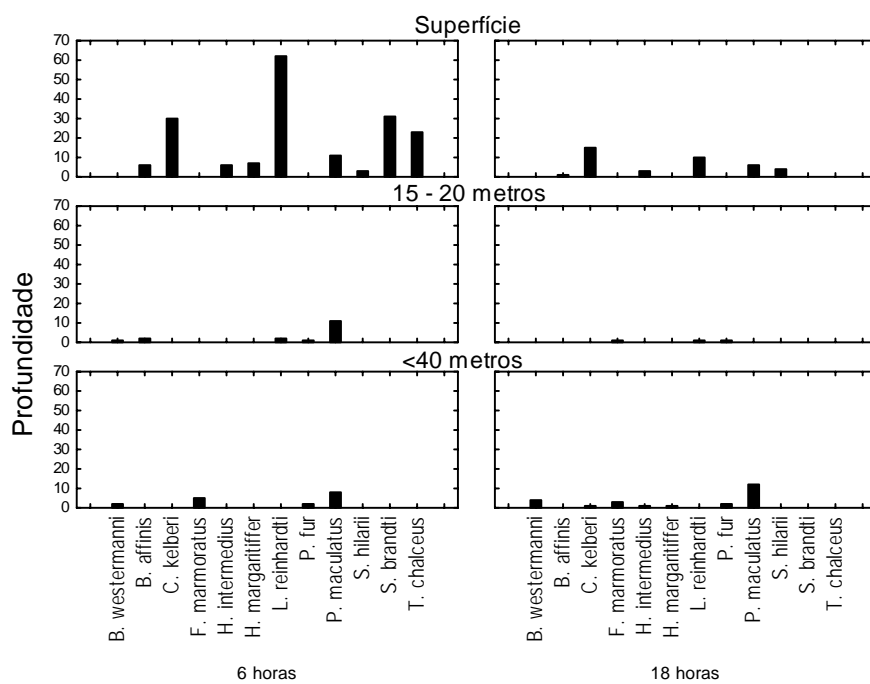


Figura 19: número de indivíduos capturados por horário e por profundidade para as 10 espécies mais abundantes nas coletas com redes de emalhar no reservatório da UHETM.

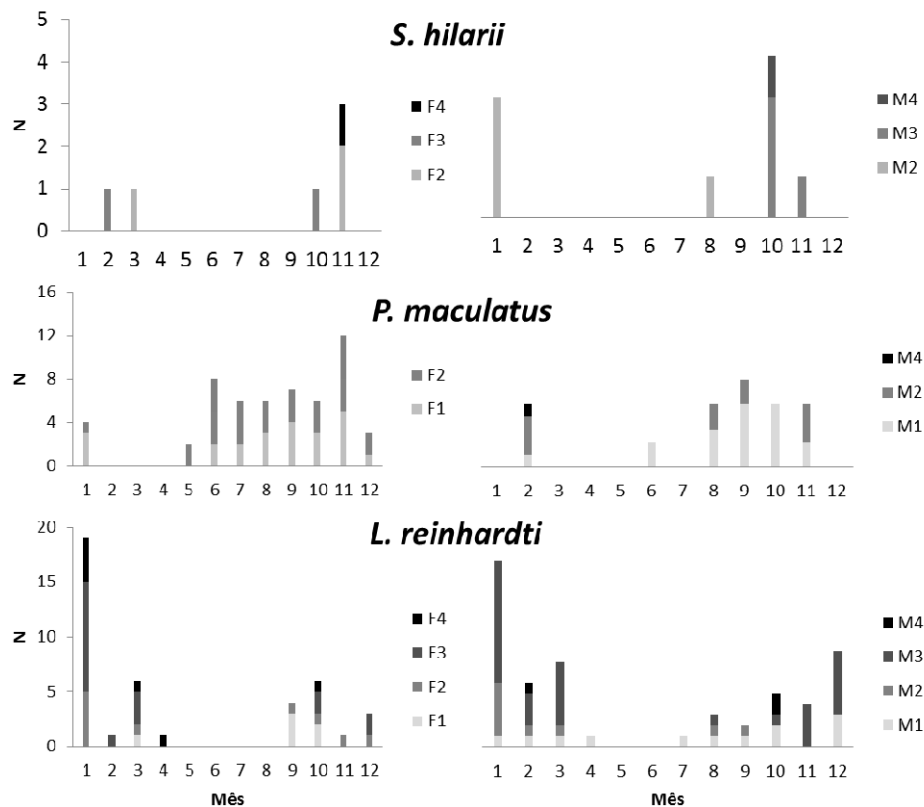


Figura 20 Estádio de maturação gonadal de espécies consideradas migradoras de pequena distância e mais abundantes nas coletas utilizando redes de emalhar no reservatório da UHETM. Foi utilizada a letra M para machos e F para fêmeas. 1 (imaturo ou em repouso), 2 (em maturação), 3 (maduro ou em reprodução), 4 (esgotado).

Com relação aos dados obtidos nos resgates realizados após o fechamento do vertedouro da UHETM, observamos que no primeiro evento de vertimento avaliado com relação à passagem de peixes, foram resgatados quinze indivíduos de *Prochilodus argenteus*, dois *L. obtusidens* e dois *C. piquiti*. Todos apresentavam apenas pequenos hematomas ou perdas pontuais de escama. Nenhum indivíduo morto ou com sinais evidentes de pancadas foram avistados.

No segundo evento, foram resgatados, seis *L. reinhardti*, seis *C. piquiti*, cinco *L. obtusidens* quatro *P. argenteus*, dois *S. hilarii*, três *S. franciscanus*, nesse mesmo local. Nenhum desses peixes apresentou grandes injúrias, apenas pequenas escoriações e perdas de escamas. Essa informação é confirmada devido ao fato desses peixes terem ficado por cerca de 15 dias na calha do vertedouro até serem resgatados e soltos.

4 DISCUSSÃO

A passagem de peixes de montante para jusante, que tem sido negligenciada em diversos países, principalmente nos neotropicais (Pompeu *et al.*, 2012), é um fator essencial para que os objetivos ecológicos da implantação de Mecanismos de Transposição de Peixes (MTP) sejam alcançados (Pelicice & Agostinho 2008). A possibilidade de retorno dos indivíduos transpostos, bem como os ovos, larvas e juvenis é requisito mínimo para o sucesso ecológico desses sistemas (Agostinho *et al.*, 2007b). No Brasil não existem mecanismos de passagem específicos para viabilizar o retorno dos peixes para jusante do barramento.

Pouca informação sobre os padrões de migração descendente são conhecidas. Para peixes adultos, os poucos estudos que procuraram avaliar o fenômeno indicam que a passagem descendente é inexpressiva (Pompeu *et al.*, 2004; Makrakis *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2011), ou mesmo ausente (Agostinho *et al.*, 2007b; Lopes *et al.*, 2007; Pelicice & Agostinho, 2008). Pompeu e colaboradores (2004) obtiveram apenas 29 recapturas a jusante do barramento para 15000 indivíduos marcados e transpostos do rio para o reservatório. Essa realidade demonstra que a avaliação da possibilidade e

eficiência de migração descendente de adultos pode ser considerada de extrema importância para viabilizar a minimização dos impactos de hidrelétricas sobre a ictiofauna, uma vez que esses MTP's podem estar atuando negativamente sobre as comunidades de peixes em empreendimentos com esse sistema (Pelicice & Agostinho, 2008).

Em alguns países, mecanismos específicos como sistemas de “bypass” tem sido construídos para possibilitar a passagem de montante para jusante (Larinier & Travade, 2002), mas o sucesso desses sistemas não é garantido (Ferguson, 1992). Outras formas de se realizar essa movimentação são pelas turbinas ou vertedouro. A passagem por turbinas apresenta o maior risco para a ictiofauna, uma vez que, em média, a taxa de mortalidade após a passagem é de 15 % (Therrien & Bourgeois, 2000).

A UHETM possui um Termo de Ajustamento de Conduta com o ministério público que demanda a realização de um estudo acerca da necessidade/viabilidade de MTP na instalação. Dessa forma, de maneira geral, os resultados obtidos parecem sugerir que a abertura das comportas do vertedouro pode ser uma alternativa para que peixes do reservatório possam transpor a barragem caso os estudos posteriores indiquem necessidade/viabilidade de implementação desse dispositivo. Essa metodologia é considerada a alternativa mais simples para possibilitar essa movimentação com menores danos (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 nesse período. Esse período coincide com o período reprodutivo da maioria das espécies da bacia do rio São Francisco (Alves *et al.*, 2011)

As variações nas profundidades médias dos traços de peixes detectados através da hidroacústica parecem sugerir a ocorrência do fenômeno comportamental chamado Migração Vertical Diária (MVD) no reservatório da UHETM, no qual os peixes se concentram nas camadas mais profundas durante o dia e migram para próximo da superfície durante a noite (capítulo 01 dessa dissertação). Como as profundidades máximas na região do VT variam entre 10 e 18 metros com os níveis do reservatório variando entre 50 e 100% e as médias de profundidade dos traços de peixes ficaram sempre abaixo da profundidade máxima do VT durante o dia, vertimentos no período diurno teriam pouco ou nenhum sucesso. Dessa forma, o vertimento durante o período noturno seria capaz de possibilitar maior sucesso para a descida de peixes para o trecho lótico.

A amplitude dos valores de reflexão acústica dos traços de peixes mostra a possibilidade de o vertimento atender as demandas de passagem tanto de peixes adultos após a desova, peixes jovens e até mesmo larvas. Os valores de reflexão observados representam indivíduos com tamanhos entre 2 e 200 cm de comprimento através da transformação proposta por Love (1987) e Loures (2011). Os menores valores de traços de peixes podem representar adultos de espécies de pequeno porte, mas também juvenis de espécies de grande porte. Os altos valores representam os adultos das espécies de grande porte. Agostinho e colaboradores (2007b) sugerem que um MTP deve assegurar o livre trânsito de peixes entre montante e jusante. Além disso, Suzuki e colaboradores (2011) consideram a passagem de larvas e juvenis extremamente importante e um dos maiores desafios para a manutenção do bom funcionamento de uma comunidade de peixes.

Pimelodus maculatus, a segunda espécie mais capturada nas redes de emalhar é uma espécie muito presente em mecanismos de transposição de jusante para montante (Oldani & Baigun, 2002; Silva, 2008; Bizzoto *et al.*,

2009). Por este motivo, um eventual retorno desses indivíduos se tornaria importante caso um mecanismo de transposição fosse implantado junto à usina. *Leporinus reinhardti*, *L. obtusidens* e *S. hilarii*, foram capturados, em sua grande maioria, durante o período noturno, reforçando assim a maior eficiência da passagem se o vertedouro for aberto durante a noite. Em toda a extensão do reservatório da UHETM ainda são comuns as capturas de outras espécies migradoras (*Prochilodus argenteus*, *P. costatus*, *Salminus franciscanus* e *Brycon orthotaenia*), principalmente durante o período chuvoso (CODEVASF, 2011a, 2011b, 2011c).

Os resultados dos peixes vistoriados na calha do vertedorouro indicam que a passagem segura por esta estrutura é possível. No trabalho realizado por Pompeu 2004, 93% das recapturas a jusante do barramento aconteceram durante o período em que o vertedouro esteve aberto, mesmo representando apenas 30 % do período de estudo. Desses indivíduos, apenas 7 % apresentavam injúrias. Nenhum peixe morto foi recolhido. Spinelli (2010) observou que cerca de 9 % do estoque de peixes estimado para sua área de estudo (reservatório de Hauser, Montana) passou do reservatório para o trecho a jusante. Ruggles & Murray (1983) afirmam que mortes de salmões devido a passagem de peixes por vertedouro é ausente ou próxima a 2 % para estruturas com mais de 90 metros de queda livre. Agostinho e colaboradores (2007a) sugerem que a taxa de sobrevivência de peixes que passam pelo vertedouro é, geralmente, entre 97 % e 100 %. Outros trabalhos como os de: Skalski *et al.*, 1998; Schilt, 2007; Larinier, 2008; balizam o sucesso da utilização do vertedouro como rota de passagem de peixes. Além da passagem de peixes jovens e adultos, atualmente alguns estudos têm sido realizados visando avaliar a possibilidade e o sucesso de passagem de ovos e larvas através das turbinas ou por vertimento. (Pompeu *et al.*, 2004; Suziki *et al.*, 2011). A realização de mais estudo nesse sentido poderá produzir

informações importantes sobre o real papel dessas rotas alternativas na manutenção da qualidade, do ponto de vista ecológico, desses ambientes. No reservatório da UHETM tem sido realizado trabalho para verificação do papel dos principais afluentes na manutenção do estoque de espécies migradoras, amplitude da deriva dos ovos e larvas e a avaliação da existência de passagem ou pelas turbinas ou vertimentos nessa usina (Rafael Rosa, com. pessoal).

A utilização da hidroacústica para realização de estudo sobre movimentação, distribuição e preferência de habitats se mostrou extremamente eficiente, principalmente por apresentar baixa seletividade; a possibilidade de se avaliar profundidades e distribuição dos peixes em toda a coluna d'água; por ser um método não invasivo e de rápida aplicação. Já as desvantagens de não possibilitar a identificação precisa das espécies, a não obtenção precisa dos valores reais de tamanho e biomassa e possibilidade de avaliações de sexo e estágio de maturação gonadal podem ser supridas por amostragens ativas (Simmonds & Maclennan, 2005).

Avaliar e entender os padrões de distribuição e acumulação de peixes imediatamente a montante do barramento, bem como formas de possibilitar o livre trânsito das espécies presentes tanto no reservatório como no trecho livre do curso d'água são cruciais para propostas de manejo e redução dos impactos à ictiofauna causados pela construção de reservatórios para geração de energia hidrelétrica. Além disso, o entendimento de fatores que possam guiar ou repelir as populações de peixes para que essa movimentação seja realizada com menor risco para a integridade física desses indivíduos pode ser uma importante ferramenta para o aumento do sucesso nas passagens de peixes.

O aumento na pressão pela implantação de novos empreendimentos hidrelétricos aumenta ainda mais a urgência e necessidade desses estudos. Para

usinas já em operação e sem MTP em operação, a abertura das comportas do vertedouro parece ser a alternativa mais viável econômica e operacionalmente. Estudos como os realizados na UHETM devem ser realizados em outras usinas para que se possa comprovar a possibilidade de uso dessa rota. Para isso, a hidroacústica em conjunto com coletas ativas (tarrafas, redes de emalhar, redes de arrasto) é uma metodologia de muito alta eficiência.

REFERÊNCIAS

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). 2008. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. ANEEL: Brasília, Brazil. 3 ed. 236 p.

Aglen A, Engås A, Huse I, Michalsen K, Stensholt B. 1999. How vertical fish distribution may affect survey results. *ICES Journal of Marine Science*, **56**: 345-360. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0449.

Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM. 2007a. *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Eduem, 501p.

Agostinho AA, Marques EE, Agostinho CS, Almeida DA, Oliveira RJ, Melo JRB. 2007b. Fish ladder of Lajeado Dam: migrations on one-way routes? *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 121-130

Agostinho CS, Pelicice FM, Marques EE, Soares AB, Almeida DA. 2011. All that goes up must come down? Absence of downstream passage through a fish ladder in a large Amazonian river. *Hydrobiologia* **675**(1): 1-12. DOI: 10.1007/s10750-011-0787-0

Alves CBM, Vieira F, Pompeu PS. 2011. Ictiofauna da bacia hidrográfica do rio São Francisco. In: *Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da bacia hidrográfica do rio São Francisco*. Ministério do Meio Ambiente. (Org.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p 226-241.

ANA (Agência Nacional de Água) 2009. *Água: edição comemorativa do ano 10 da Agência Nacional de Água*. Brasília. 264p.

BioSonics. 2004. *Calibration of BioSonics Digital Scientific Echosounder using T/C calibration spheres*. BioSonics, Inc. Seattle 11p.

Bizzotto PM, Godinho AL, Vono V, Kynard B, Godinho HP. 2009. Influence of seasonal, diel, lunar, and other environmental factors on upstream fish passage in the Igarapava Fish Ladder, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish* **18**: 461–472.

Blackman SS. 1986. *Multiple-target tracking with radar applications*. Norwood, Massachusetts, Artech House Inc. 464 p.

Brandt SB. 1996. Acoustic assessment of fish abundance and distribution. In: *Fisheries Techniques* Murphy, R. B & D.W Willis (Ed.). American Fisheries Society. 732p.

Britski HA, Sato Y, Rosa ABS. 1984. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias. Brasília: Câmara Dos Deputados/CODEVASF. 128 p.

Cada FG. 2001. The Development of Advanced Hydroelectric turbines to Improve Fish Passage Survival. *Fisheries* **26**(9) 14-23

CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). 2006. *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.

CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba). 2010a. *Relatório III*. Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura de Três Marias. Três Marias 43p.

CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba). 2010b. *Relatório IV*. Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura de Três Marias. Três Marias 78p.

CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba). 2010c. *Relatório V*. Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura de Três Marias. Três Marias 172p.

Dugan PJ, Barlow C, Agostinho AA, Baran E, Cada GF, Chen D, Cowx IG, Ferguson JW, Jutagate T, Mallen-Cooper M, Marmulla G, Nestler J, Petre M, Welcomme RL, Winemiller KO. 2010. Fish Migration, Dams, and Loss of Ecosystem Services in the Mekong Basin. *AMBIO* **39**: 344–348.

- Esteves FA, Amorim JC, Cardoso EL, Barbosa FAR. 1985. Caracterização limnológica preliminar da Represa de Três Marias (MG) com base em alguns parâmetros ambientais básicos. *Ciência e Cultura* **37**(4): 608-617.
- Ferguson J. 1992. Analyzing turbine bypass systems at hydro facilities. *Hydro Review* **11**: 46-56
- Foote KG, Knudsen HP, Vestnes G, MacLennan DN, Simmonds EJ. 1987. *Calibration of Acoustic Instruments for Fish Density Estimation: A Practical Guide*. ICES, Copenhagen. 70 p.
- Godinho HP, Godinho AL. 2003. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte. PUC Minas. 468 p.
- Godinho AL, Kynard B. 2009. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River Research and Applications* **25**: 702–712. DOI: 10.1002/rra.1180
- Guillard J. 1998. Daily migration cycles of fish populations in a tropical estuary Sine, Saloum, Senegal using a horizontal-directed split-beam transducer and multibeam sonar. *Fisheries Research* **35**: 23–31.
- Jurvelius J, Kolari Leskelä I. 2011. Quality and status of fish stocks in lakes: gillnetting, seining, trawling and hydroacoustics as sampling methods. *Hydrobiologia* **660**: 29-36. DOI: 10.1007/s10750-010-0385-6.
- Larinier M. 2008. Fish passage experience at small-scale hydroelectric power plants in France. *Hydrobiologia* **609**: 97-108. DOI: 10.1007/s10750-008-9398-9
- Larinier M, Travade F. 2002. Downstream migration: problems and facilities. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **364**: 181–201
- Lopes CM, Almeida FSD, Orsi ML, Britto SGDC, Sirol RN, Sodr e LMK. 2007. Fish passage ladders from Canoas Complex – Paranapanema River: evaluation of genetic structure maintenance of *Salminus brasiliensis* (Teleostei: Characiformes). *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 131-138
- Loures RCF. 2011. 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. 108p.

- Love RH. 1971. Dorsal aspect target strength of an individual fish. *Journal of the Acoustical Society of America* **49**:816–823.
- Makrakis S, Makrakis MC, Wagner RL, Dias JHP, Gomes LC. 2007. Utilization of the fish ladder at the Engenheiro Sergio Motta Dam, Brazil, by long distance migrating potamodromous species. *Neotropical Ichthyology* **5**(2): 197-204
- Oldani NO, Baigún CRM. 2002. Performance of a fishway system in a major South American dam on the Paraná River (Argentina-Paraguay). *River Research and Application* **18**: 171-183. DOI: 10.1002/rra.640.
- Parker-Stetter SL, Rudstam LG, Sullivan PJ, Warner DM. 2009. *Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes*. Great Lakes Fishery Commission Special Publication. 180p.
- Pelicice FM, Agostinho AA. 2008. Fish-passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation Biology* **22**: 180–188
- Pompeu PS, Agostinho AA, Pelicice FM. 2012. Existing and Future Challenges: The Concept of Successful Fish Passage in South America. *River Research and Applications* **28**(4): 504-512. DOI: 10.1002/rra.1557
- Pompeu PS, Ferreira VP, Silva HF, Martinez CB. 2004. Evaluation of downstream fish passage through Santa Clara Power Plant Dam, Minas Gerais, Brazil. In: *Proceedings of Fifth International Symposium on Ecohydraulics, Aquatic Habitats: Analysis & Restoration*. Vol 2. Madrid, IAHR, p. 999-1003.
- Ruggles CP, Murray DGA. 1983. *Review of Fish Response to Spillways*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences. n 1172. 31 p.
- Sampaio EV, López CM. 2003. Limnologias física, química e biológica da represa de Três Marias e do São Francisco. In: *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*, Godinho HP, Godinho AL (ed.). Belo Horizonte: PUC Minas. 71–92.
- Schilt C. 2007. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science* **104**: 295–325. DOI:10.1016/j.applanim.2006.09.004
- Silva FO. 2008. Transposição de peixes pelo elevador de Funil, rio Grande, Bacia do alto Paraná, MG. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 54p.

Simmonds EJ, MacLennan DN. 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*, 2ed. Blackwell, Oxford. 413p.

Skalski JR, Townsend RL, Giorgi AE. 1998. *The design and analysis of salmonid tagging studies in the Columbia River Basin: recommendations on the design and analysis of radiotelemetry studies of salmonid smolts to estimate survival and passage efficiencies*. Report to Bonneville Power Administration. Division of Fish and Wildlife.

Spinelli JP. 2010. 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.

Suzuki FM, Pires LV, Pompeu PS. 2011. Passage of fish larvae and eggs through the Funil, Itutinga and Camargos Reservoirs on the upper Rio Grande (Minas Gerais, Brazil). *Neotropical Ichthyology* **9**(3): 617-622

Taylor JC, Maxwell SL. 2007. Hydroacoustics: Lakes and Reservoirs. In: *Salmonid Field Protocols Handbook: Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*, Johnson DH (Org.). Herndon: American Fisheries Society in association with State of the Salmon. 153-172.

Therrien J, Bougeois G. 2000. Fish passage at small hydro sites. Report by Genivar Consulting Group for CANMET Energy Technology Centre, Ottawa.

Vazzoler AEAM. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá, EDUEM. 169p.

Yule DL. 2000. Comparison of horizontal acoustic and purse-seine estimates of salmonid densities and sizes in eleven Wyoming waters. *North American Journal of Fisheries Management* **20**: 759–775.