



Impactos do desenvolvimento do potencial hidroelétrico sobre os ecossistemas aquáticos do Rio Tocantins

(doi:10.4136/ambi-agua.129)

Jonatas José Luiz Soares da Silva¹; Marcia Marques¹; Jorge Machado Damásio²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

E-mail: posseidonetuno@hotmail.com; marciam@uerj.br

²Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPTEL

E-mail: damazio@cepel.br

RESUMO

Apesar do evidente sucesso com relação aos seus objetivos- fim, usinas hidrelétricas causam impactos com diferentes níveis de severidade aos sistemas físico-biótico, socioeconômico e cultural das regiões em que as instalações são realizadas. O presente trabalho objetivou identificar problemas e impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos do Rio Tocantins relacionados com o desenvolvimento do seu potencial hidroelétrico, de forma a contribuir com a compatibilização de geração de energia e conservação da biodiversidade e manutenção dos fluxos gênicos. O cenário considerado contemplou o empreendimento de Peixe Angical para ilustrar a aplicação da metodologia de Análise de Cadeia Causal (ACC); a partir da qual, foram identificados os problemas e impactos ambientais prioritários e as relações destes com diferentes causas imediatas, setoriais e raízes foram estabelecidas. A hierarquização dos impactos foi feita por meio de matriz de caracterização, tendo as comunidades íctias como principais indicadores. Os impactos considerados como mais relevantes foram: (i) queda na qualidade dos recursos hídricos; (ii) perda e alteração de habitats; (iii) mudanças na estabilidade dos ecossistemas; (iv) redução de recursos pesqueiros; (v) interferência com as comunidades de bentos e de microorganismos; (vi) alteração nas cadeias alimentares e; (vii) interferência na dispersão de comunidades íctias e de mamíferos.

Palavras-chave: análise da cadeia causal; hidroelétricas; impacto ambiental; impacto socioeconômico.

Impacts on Tocantins River aquatic ecosystems resulting from the development of the hydropower potential

ABSTRACT

Regardless the obvious success of using hydropower plants to supply energy for economic development, they may result in several environmental and social impacts with different levels of severity on the aquatic ecosystems and on the human communities living in the region. The objective of this study was to identify environmental problems and impacts to the aquatic ecosystems in Tocantins river related to the development of its hydropower potential and contribute to the target of balancing of energy generation with biodiversity and genetic flux preservation. The scenario considered the hydropower plants Peixe Angical and São Salvador. The Causal Chain Analysis (CCA) was used to identify the environmental impacts and their immediate, sectarian and root causes. The impacts were ranked according to the characterization matrix, having the fish communities as the main indicators. The most relevant impacts were: (i) degradation of water resources, (ii) loss and changes in habitats, (iii) changes in the ecosystems stability, (iv) reduction of fish stocks, (v) interference with benthic communities and microorganism's populations, (vi) changes in the food-chain and (vii) interference with the dispersion of fishes and mammals.

Keywords: causal chain analysis; hydroelectric power plant; environmental impact; socio-economic impact.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável surgiu como um conceito fundamental que visa unir desenvolvimento econômico e proteção ambiental. Esse conceito não postula a preservação da natureza em seu estado natural, mas a melhoria de vida mediante o gerenciamento racional das intervenções sobre o meio ambiente, com ou sem transformação da estrutura e das funções dos ecossistemas, internalizando nos projetos os custos ambientais e distribuindo de forma ética, os custos e benefícios entre as populações envolvidas.

A priorização da implantação de usinas hidrelétricas deve-se, primordialmente, ao vasto potencial hidrelétrico existente no país e à competitividade econômica que essa fonte apresenta (Goldemberg e Moreira, 2005). Em face dos custos e impactos ambientais, para as condições brasileiras, a hidroeletricidade é considerada técnica e economicamente a melhor solução, uma vez que tem como vantagens o fato de ser renovável e disponível no país a menor custo. Os aproveitamentos hidrelétricos, além de gerarem energia, são responsáveis por uma série de impactos negativos que são sentidos não só no meio ambiente físico como no social, tais como remoção de populações (em particular comunidades indígenas), perda de áreas florestais e de biodiversidade e danos, muitas vezes irreversíveis, nos ecossistemas aquáticos. Os estudos de gerenciamento ambiental pela gestão de bacia hidrográfica apresentam inúmeras vantagens, uma vez que tal unidade integra os processos naturais, sociais e políticos. Esta abordagem permite também a elaboração de um amplo diagnóstico físico, social, econômico e produtivo, cuja organização das informações visa estabelecer uma estratificação dos ambientes naturais, procurando correlacioná-los com as atividades produtivas neles desenvolvidas (Marques, 2003). A bacia hidrográfica do rio Tocantins foi considerada prioritária pelo Ministério de Minas e Energia-MME, no âmbito do Convenio nº 013/2004, de 21 de dezembro de 2004, celebrado entre o Ministério e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para elaboração dos estudos de Avaliação Ambiental Integrada (Brasil, 2005). Na bacia existem diversos empreendimentos hidrelétricos em operação e outros em diferentes estágios de planejamento que configuram um significativo aporte de energia para a expansão da oferta do setor elétrico nos próximos anos. Nesse sentido, torna-se de fundamental importância a identificação e avaliação dos efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos ocasionados pelo conjunto dos aproveitamentos em planejamento, construção e operação situados em uma mesma bacia hidrográfica, como uma estratégia de integração da dimensão ambiental ao processo de planejamento do setor elétrico (Pires, 2001).

O principal objetivo do presente trabalho foi identificar problemas ambientais prioritários relacionados aos ecossistemas aquáticos de trechos selecionados do Rio Tocantins (com ênfase no aproveitamento hidrelétrico de Peixe Angical), a partir da Análise da Cadeia Causal-ACC (Marques et al., 2004; Marques, 2002). Buscou-se dentro desse modelo, a identificação das principais causas imediatas, setoriais e causas raízes responsáveis pelos impactos identificados e a listagem de opções políticas para mitigação destes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Análise da Cadeia Causal (ACC) está fundamentada em procedimentos para Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) propostos pelo Projeto Global International Waters Assessment GIWA (Marques, 2002; Marques et al., 2004; GIWA, 2005). A ACC pode ser definida como uma metodologia constituída de uma série de associações que ligam diferentes causas de um dado problema ambiental. A partir de matrizes de correspondência relativas aos temas críticos, é, então, efetuada a montagem do modelo da Cadeia Causal. Para cada tema crítico proposto em matrizes, foram analisadas as causas e estabelecidas as relações entre elas. Para a construção do modelo conceitual da ACC encontram-se listados os seguintes componentes

elementares: 1-Causas Imediatas - fenômenos de natureza física, química e biológica que resultam na degradação ambiental; 2- Causas Setoriais - atividades econômicas que geram tais fenômenos físicos, químicos e biológicos; 3- Causas Raízes - falhas nos instrumentos de articulação social ou falhas institucionais (Marques, 2002). Montada a base da rede, são definidas as relações entre os elementos. Foram estabelecidas como critério de vinculação, as relações diretas de causa e efeito, ou seja, um elemento da rede só está relacionado a outro se o primeiro for uma causa direta do segundo elemento. No modelo de ACC utilizado no presente trabalho, as Causas Raízes, referem-se às falhas na articulação social (ou falha institucional) que geram desenvolvimento dos setores econômicos de forma não-sustentável, que por sua vez geram Causas Imediatas (fenômenos do mundo físico, ou seja, processos físicos, químicos e biológicos como, por exemplo, modificação da vazão de um rio), gerando Problemas Ambientais (ex.: que por sua vez, resultam em Impactos Ambientais, que por sua vez são traduzidos em Impactos Socioeconômicos, conforme detalhado em Marques et al., (2004). A exploração dos recursos hídricos para produção de energia promove diversas modificações de ordem qualitativa e quantitativa nos ecossistemas aquáticos (Fearnside, 2002), assim como da qualidade da água para usos consuntivos. Portanto, os problemas ambientais prioritizados, relacionados aos empreendimentos em foco, são Degradação dos Ecossistemas Aquáticos e Queda na Qualidade da Água enquanto Recurso Hídrico.

2.1. Área de Estudo

O AHE Peixe Angical no Rio Tocantins em operação desde 2006 (Figura 1) é localizado nos municípios de Peixe e São Salvador do Tocantins, no estado do Tocantins, em torno das coordenadas 12° 14' 16,6" S e 48° 23' 08,4" W, cerca de 1 km a jusante da denominada Ilha da Paz (submersa). O local fica a 1.604 km da foz do Rio Tocantins, termo que significa nariz de tucano na língua tupi-guarani. O reservatório afeta terras dos municípios de Peixe, São Salvador, Paranã e Palmeirópolis, no Estado do Tocantins.



Figura 1. AHE Peixe Angical (foto: Energias do Brasil, www.industcards.com/hydro-brazil-to.htm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da cadeia causal (ACC) é apresentada a seguir, e as associações entre as mesmas e importância relativa são indicadas na Figura 2.

3.1. Causas imediatas

3.1.1. Aumento no aporte de nutrientes e compostos orgânicos no corpo hídrico

Os nutrientes liberados em consequência da decomposição e lixiviação do solo inundado são usados pelo fitoplâncton, perifíton e macrófitas aquáticas, que por sua vez, produzem de novo materiais de fácil decomposição. Com o desenvolvimento das atividades humanas em torno dos reservatórios, as bases para um processo de eutrofização são estabelecidas. O aumento na concentração dos nutrientes, associado ao tempo de residência e radiação solar pode ocorrer até o ponto em que acarrete o crescimento maciço de macrófitas aquáticas, se as espécies de algas e as condições climáticas adequadas estiverem presentes (Pompêo, 1999).

3.1.2. Redução de oxigênio dissolvido (OD)

Nas fases de enchimento e pós-enchimento dos reservatórios é esperada a ocorrência de incorporação e biodegradação da biomassa inundada, resultando em liberação de nutrientes e compostos orgânicos (Bianchini Jr., 1999). Com isso haverá um favorecimento ao processo de eutrofização, o que torna a água inadequada para diversas espécies de peixes e reduz a qualidade para usos consuntivos.

3.1.3. Aumento de sólidos suspensos, turbidez e material particulado nos rios

No que se refere aos processos de sedimentação e assoreamento, em função da dinâmica atual da bacia hidrográfica contribuinte dos reservatórios das UHE Peixe e São Salvador, estima-se que a maior contribuição ao assoreamento dos futuros reservatórios será proveniente do próprio Rio Tocantins (Engevix, 2001), visto que esse rio, nos trechos enfocados, encontra-se sob regime de transferência de detritos, principalmente de material de fundo (areias e cascalho fino).

3.1.4. Redução da zona eufótica

A quantidade de luz disponível no ecossistema aquático exerce influencia direta no seu metabolismo (Pereira Filho, 2000). O aumento do material em suspensão na água pode promover a redução da zona eufótica.

3.1.5. Alteração na vazão devido à contenção de fluxo do rio

As flutuações do nível do rio abaixo da represa sofrem modificações de forma que os padrões naturais do ciclo hidrológico serão mantidos com uma amplitude reduzida. Alterações na vazão do rio interferem diretamente na qualidade das águas, principalmente em relação a alguns parâmetros como turbidez, pH, alcalinidade, cor e matéria orgânica.

3.1.6. Remoção de espécies críticas

Durante a formação e ao longo da operação de um reservatório pode haver a remoção de espécies críticas, que têm uma importância fundamental para as cadeias alimentares e para a manutenção da biodiversidade sustentada dos ecossistemas aquáticos (Luiz et al., 2003). A remoção de várias espécies de vegetação ripária produz grandes alterações nos sistemas aquáticos, por exemplo, a remoção de espécies de vegetação cujos frutos servem de alimento para peixes pode causar modificações fundamentais na estrutura da comunidade biológica desses ecossistemas aquáticos.

3.1.7. Perda da zona tampão entre sistemas terrestre e aquático

Áreas alagadas, florestas ripárias e interfaces entre sistemas terrestres e aquáticos são regiões tampão que removem nitrogênio e fósforo. Além disso, precipitam metais pesados e complexam esses elementos, removendo material em suspensão e impedindo o seu transporte

para os sistemas aquáticos (Silva, 2005). Segundo Salati et al. (2006), a destruição e fragmentação das matas ciliares e obras de terraplanagem para a implantação dos canteiros de obras, dos acessos e para a implantação da infraestrutura e dos alojamentos, realizados junto aos ambientes aquáticos podem causar o desaparecimento das zonas tampão, com a consequente perda ou alteração de habitats disponíveis a toda biocenose da região e afetando negativamente diversas espécies, especialmente as de ocorrência restrita.

3.1.8. Criação de barreiras reprodutivas

O barramento dos rios é reconhecido como uma das principais causas da redução dos peixes em diversas partes do mundo uma vez que provoca a segregação de comunidades em áreas distintas (Oliveira e Lacerda, 2004). Uma boa parcela das espécies íctias de valor para o consumo humano são migratórias (espécies de piracema). Elas realizam grandes deslocamentos, durante os quais o desenvolvimento das gônadas é estimulado. Além das migrações reprodutivas, elas fazem migrações tróficas rio acima. Para tais espécies, as barragens representam um obstáculo muitas vezes insuperável (Martins e Tamada, 2000).

3.1.9. Liberação de gases de efeito estufa

Hidrelétricas podem emitir significativas quantidades de gases relacionados ao efeito estufa (Nobre, 2001), pela liberação de dióxido de carbono (CO₂) oriundo da decomposição aeróbia de biomassa de floresta morta nos reservatórios que se projeta para fora da água (Fearnside, 2002), e pela liberação de metano (CH₄) proveniente da decomposição anaeróbia de matéria não lignificada (plantas herbáceas das zonas de despalacamento e macrófitas). A maior parte do metano é emitida pela água que passa pelas turbinas e pelo vertedouro. Emissões pela superfície da represa, que é o único componente do impacto atualmente incluído nas estimativas oficiais brasileiras, é uma parte relativamente pequena do impacto total que é, portanto, subestimado.

3.2. Impactos Ambientais Prioritários

A formação de uma represa em um rio significa a interrupção de um sistema aberto e de transporte por um sistema mais fechado e de acumulação. Como consequência, há uma modificação das condições hidráulicas do rio que afetará não só a área do próprio reservatório como também a área a jusante da represa (Junk e Mello, 1990). O barramento do rio e as mudanças no ambiente (a exemplo da velocidade da corrente e tipo de substrato de fundo) resultam em uma alteração na estrutura das comunidades aquáticas, em especial na composição ictiofaunística, em função das modificações do regime hidrodinâmico que passa de lótico para lântico.

3.2.1. Perda e alteração de habitats

Uma vez que a região se apresenta composta por um mosaico de tipos de fundo, diferenças na velocidade da água e na densidade da vegetação das encostas e pela constituição geomorfológica diferenciada, a grande variedade de habitats contribui para a manutenção da diversidade ictiofaunística (THEMAG, 2000). A execução do desvio do Rio Tocantins e a construção de ensecadeira, na fase de implantação do empreendimento, interferem negativamente na ictiofauna. As atividades de enrocamento, de terraplanagem e de concretagem da barragem principal causam modificações físicas locais severas e irreversíveis. O desvio do canal principal do rio modifica radicalmente o ambiente bentônico, formando ensecadeiras que podem funcionar como armadilhas para a ictiofauna.

3.2.2. Mudanças na estabilidade dos ecossistemas

Conforme observado por Martins e Tamada (2000), a ausência de picos de inundação causará a desorientação de peixes migradores, como o pacu (*Mylesinus* sp.) a pirarara (*Phractocephalus hemioliopus*) e o curimatá (*Prochilodus* sp.), na época da desova. Caso o regime passe a ser lento, as espécies adaptadas a esse regime, como cardumes de *Bryconamericus* sp. e *Creagutus* sp., terão crescimento de população e aumento na frequência em que são observadas. Por outro lado, as populações mais adaptadas ao regime rápido das águas, assim como aquelas que necessitam subir o rio para reprodução, a exemplo dos curimatás (*Prochilodus* sp.), tendem a diminuir uma vez que passarão a ter mais um bloqueio para sua migração (Pompeu e Martinez, 2006).

3.2.3. Interferência com as comunidades de bentos e de micro-organismos

A formação do reservatório poderá causar a perda ou a alteração de habitats para a fauna de micro-organismos dos bentos, de fitoplânctons e de zooplânctons (Piedras et al., 2006). Os ambientes naturais das comunidades bentônicas são sítios rochosos ou ambientes sedimentados de fundo de rios e lagos. Com o estabelecimento do reservatório, esses locais poderão receber um significativo incremento de sedimentos que refletirá diretamente nas comunidades bentônicas.

3.2.4. Aumento nas populações de bactérias patogênicas

A formação de reservatórios leva a um desequilíbrio ecológico nos sistemas aquáticos, que contribui para o aumento populacional de bactérias patogênicas de vida livre ou agregadas ao material em suspensão que é potencializado com o aumento populacional e incremento de despejo de esgoto doméstico.

3.2.5. Alteração nas cadeias alimentares

A morte ou afugentamento dos indivíduos afeta diretamente a dinâmica das populações, alterando o nicho, o hábitat e o tamanho das populações. Com a diminuição da diversidade de peixes na represa pode haver uma alteração radical da abundância relativa de peixes nos diferentes níveis tróficos (Luiz et al., 2003). Muitas dessas espécies são detritívoras ou parcialmente herbívoras. Embora ambos os itens alimentares encontrem-se em grandes quantidades nos reservatórios a utilização adequada destes pode ser afetada (Junk e Mello, 1990).

3.2.6. Redução de recursos pesqueiros

As comunidades de peixes de reservatórios são o resultado de um processo de reestruturação daquelas comunidades que ocupavam o segmento fluvial represado, sendo marcadas por extinções locais de alguns componentes e por alterações drásticas na abundância da maioria, incluindo espécies de valor econômico (Araújo-Lima et al., 1995).

3.2.7. Interferência na dispersão de comunidades íctias e de mamíferos

A formação do reservatório provoca o alargamento da calha do rio Tocantins e de seus tributários, podendo facilitar a dispersão dos mamíferos cetáceos dos gêneros *Inia geoffrensis* e *Sotalia* sp, registrados no ribeirão Cana Brava, no rio Manuel Alves Pequeno e na Ilha dos Botes (THEMAG, 2000). Por outro lado, é esperada uma redução de biodiversidade ictiológica e da variação gênica, além da fragmentação de populações, devido a intransponibilidade da barragem (Martinez, 2000). A ocorrência de jovens e de adultos de algumas espécies em estádios avançados de reprodução sugere que a região pode ser utilizada como local de reprodução por algumas espécies, mesmo no período da seca.

3.2.8. Proliferação de vetores de doenças tropicais

Devido a alterações substanciais nas cadeias tróficas em ecossistemas terrestres e aquáticos e mudanças na estrutura e funções dos sistemas aquáticos poderá haver a expansão de organismos vetores de doenças tropicais como mosquitos do gênero *Anopheles* (vetor da malária), *Aedes* (vetor da dengue e febre amarela), *Culex* (vetor de filariose) e de moluscos do gênero *Biomphalaria* que servem de hospedeiros intermediários do platelminto *Schistosoma* para a efetivação do ciclo da esquistossomose (Thiengo et al., 2005).

3.3. Impactos socioeconômicos negativos

3.3.1. Perda econômica devido à inundação de áreas agriculturáveis

Embora na região de estudo a agricultura seja pouco expressiva em termos de área, é praticada uma agricultura de subsistência, sem mecanização, com utilização de implementos manuais e raramente com tração animal. Com a formação dos reservatórios, haverá o alagamento de diversas propriedades, inviabilizando a sua utilização para tais práticas agrícolas.

3.3.2. Expansão geográfica de doenças de veiculação hídrica

O impacto ambiental anteriormente relacionado em 3.2H, aumenta os riscos de doenças tropicais (malária, febre amarela, esquistossomose, filariose), além do mau cheiro provocado por gás sulfídrico. Ocasionalmente, o crescimento exagerado de algas cianofíceas e a decomposição de macrófitas em grande escala resultam em uma perda da qualidade da água, que gera problemas gastro-intestinais. Em diversas represas tropicais foi reportado o aumento de casos de malária.

3.3.3. Gasto com indenizações devido ao deslocamento e relocação de comunidades

É estimado que, aproximadamente, 32.500 ha de terrenos devam ser desocupados para a implantação da Hidrelétrica de Peixe Angical. O deslocamento das 223 famílias rurais e das 56 famílias urbanas residentes representa um impacto significativo na vida desses habitantes, particularmente considerando que se trata de pessoas com baixa renda e capacitação para o trabalho.

3.3.4. Redução do valor econômico de residências e propriedades próximas a lagos, rios ou represas eutrofizadas

A possível ocorrência de eutrofização de reservatórios (impacto ambiental) provoca mau cheiro devido à produção do gás metano e a matéria orgânica em decomposição, além de criar um ambiente adequado para a reprodução de mosquitos. Os impactos provocados vão além das regiões rurais, pois a população que se dirige para trabalhar nas obras e os desalojados tendem a ocupar as cidades próximas, formando favelas e sobrecarregando a infraestrutura local (Almeida e Régis, 2003).

3.3.5. Aumento dos custos para o tratamento de água

Considerando-se que lagos, represas e áreas alagadas têm uma interação permanente e dinâmica com as bacias hidrográficas às quais pertencem, o desenvolvimento das atividades humanas na bacia tende a aumentar as funções de transferências de sistemas terrestres para sistemas aquáticos e acelerar os coeficientes de exportação. Uma vez que a eutrofização acelera o aumento de matéria orgânica nos sistemas, produz concentrações indesejáveis de fitoplâncton e permanente crescimento de macrófitas aquáticas, gerando um aumento nos custos para a manutenção dos padrões de qualidade de água para abastecimento da população.

A má qualidade da água também afeta as turbinas e as construções, criando gastos elevados de manutenção.

3.3.6. Perdas econômicas associadas à queda de recursos pesqueiros tradicionais

A formação de barragens pode fazer com que algumas das principais espécies utilizadas na atividade pesqueira sofram uma redução, ou até mesmo desapareçam da região. É caso do jaú (*Paulicea luetkeni*) e da dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) que realizam movimentos migratórios, sendo a última incluída na lista nacional das espécies sobre-explotadas. Ainda podem ser citadas a piabanha (*Brycon* spp.) e o pacu-prata (*Myleus* spp.) que são espécies que realizam deslocamento reprodutivo, além de estarem incluídas na categoria IUCN como em perigo de extinção e vulnerável, respectivamente (Biodiversitas, 2005).

3.3.7. Crescimento populacional/demanda por infraestrutura

Os impactos relacionados com a ocupação humana na região vão estar diretamente relacionados com o setor hidrelétrico. Esses impactos tornam-se importantes à medida que os empreendimentos se inserem em uma região com baixa oferta de postos de trabalho, pequenos contingentes populacionais urbanos e, conseqüentemente, estrutura social vulnerável e limitada infraestrutura de saúde, educação e habitação. A atração de novos habitantes pode causar sérios impactos nesses núcleos urbanos. É esperado um aumento significativo de população, normalmente de baixa renda, aumentando a demanda habitacional e por serviços básicos de infraestrutura social.

3.3.8. Aumento da pesca e caça predatória

Com a implantação dos empreendimentos, a região deverá apresentar um incremento da pesca e caça predatória devido ao crescimento populacional. Esse fato irá gerar um aumento da pressão antrópica sobre as comunidades de médios e grandes mamíferos, aves, répteis e anfíbios, além da redução de matrizes e peixes adultos.

3.4. Impactos socioeconômicos indiretos positivos

3.4.1. Aumento no fornecimento de energia para usos múltiplos

Os seguintes usos múltiplos deverão fazer parte do processo de novo ciclo hidrosocial: abastecimento público para pequenas localidades; pesca; irrigação em pequena escala; irrigação em larga escala (agronegócio); recreação em pequena e em larga escala; turismo e atividades relacionadas; navegação e transporte em escala limitada e em larga escala dentro de alguns anos; usos industriais diversificados, além da produção de energia elétrica; aquicultura em condições limitadas e sob controle deverá ocorrer após estabilização.

3.4.2. Aumento do conhecimento das populações íctias

Os estudos de previsão de impactos resultam, além das orientações de procedimentos para o setor elétrico, em um significativo volume de material obtido nas campanhas de campo e incorporado aos acervos de importantes museus e instituições de pesquisa nacionais, assim como os investimentos em monitoramento.

3.4.3. Criação de praias artificiais com finalidade recreacional

Uma das compensações previstas para os impactos ambientais consistirá na criação de praias artificiais em locais estratégicos dos reservatórios, em substituição às praias naturais dos rios Tocantins, Paranã e Palma, que são intensamente utilizadas nos períodos de estiagem (THEMAG, 2000).

3.5. Causas Setoriais

3.5.1. Aproveitamentos hidrelétricos

A demanda crescente e o formato da matriz energética brasileira, com grande destaque para a opção hidrelétrica é causa setorial, impulsionando os empreendimentos em foco e outros similares. A relação existente entre a política de desenvolvimento, com a ampliação da rede de produção de hidrelétrica, e a política de conservação ambiental é potencialmente um dos principais conflitos observados na região.

3.5.2. Setor Agrícola

O desenvolvimento da agricultura mecanizada e da monocultura, inclusive pasto, exerce uma pressão pelo fornecimento de energia e pela implantação dos empreendimentos.

3.5.3. Indústria e Agrobusiness

Trata-se de setor primordialmente dependente de energia, não apenas na bacia onde a mesma é gerada, mas em outras regiões do Brasil.

3.6. Causas Raízes

3.6.1. Baixo investimento em fontes alternativas (renováveis de energia)

Embora o governo brasileiro tenha instituído incentivo ao fomento de energia eólica (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002), sua efetiva implementação ainda é necessária. Essa legislação cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Eólica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e altera dispositivos legais que interferem no aproveitamento de fontes alternativas e cogeração de energia, destacando-se o estabelecimento de mecanismos que induzam à eficiência econômica e energética, à valorização do meio ambiente e à utilização de recursos energéticos locais.

3.6.2. Desenvolvimento populacional

A determinação dos níveis de pressão antrópica da região pode ser evidenciada pelo Índice de Pressão Antrópica (IPA). O IPA revela que a área do Tocantins, classificada como alta importância biológica, atinge 100% de pressão (Brasil, 2005). A principal motivação para a produção e transmissão de energia está voltada para as necessidades dos centros mais desenvolvidos do país, que precisam dos recursos que possam ser retirados da região aqui enfocada, possuidora de um Índice Municipal de Desenvolvimento Humano (IDH-M) médio igual a 0,483, caracterizando seu baixo desenvolvimento. Governo e empresas afirmam que o maior benefício será a criação de empregos diretos e indiretos. Todos eles obedecem à lógica que preconiza o desenvolvimentismo da região, com possíveis reflexos na melhoria de vida das populações nativas.

3.6.3. Aumento da demanda energética

Dentro de uma perspectiva histórica recente, o consumo de energia elétrica segue uma trajetória de acréscimo permanente superior à evolução da economia e do consumo de energia global (Economia & Energia, 2005). De um lado a relação entre consumo e do PIB tem decrescido nos últimos anos, indicando alterações estruturais na economia, e de outro uma componente inercial da dinâmica do mercado de eletricidade, que explica seu maior crescimento relativo. O primeiro aspecto é a provável utilização de tecnologias mais eficientes no uso final da eletricidade, e o segundo pode ser associado à penetração crescente de energia elétrica em razão da modernização dos diversos setores da economia, do crescimento populacional e da extensão das redes elétricas.

3.6.4. Fragilidade institucional dos órgãos ambientais

Um dos pontos mais frágeis do licenciamento é a qualidade dos EIA/RIMA. Boa parte dos estudos ambientais realizados pelos empreendedores são superficiais, desconexos e muitas vezes trazem informações falsas ou desatualizadas. Procedimentos que norteiam a tomada de decisões ainda precisam de reformas substanciais para que os impactos ambientais sejam plenamente considerados nas aprovações de projetos de desenvolvimento, e para que, quando projetos forem considerados dignos de implementação, os impactos que eles provocam sejam mitigados com justiça.

3.6.5. Dificuldade na implementação das Leis Ambientais

Há reconhecido progresso na consolidação de leis e normas que regem a conservação e uso sustentável da biodiversidade, a começar pela Constituição Brasileira. Contudo, na prática, há uma nítida dificuldade de implementação da legislação. Esse aspecto é considerado como fator institucional destacando, além dessa questão outros elementos como capacidade de fiscalização, assistência técnica, insuficiência de dados e necessidade de pesquisa científica. O Código Florestal e a Lei de Crimes Ambientais são constantemente violados, com os desmatamentos de cabeceiras e ocupação de outras áreas de rios. Enfim, há um descompasso entre a existência de legislação adequada e sua implementação, sendo a deficiência de fiscalização uma porta aberta para a transgressão.

3.6.6. Carência de informações e conhecimento científico

O estudo da biodiversidade e da sua distribuição espacial é de grande importância; qualquer projeto ligado à conservação ou ao uso sustentável de recursos naturais requer conhecimentos mínimos de sistemática e ecologia dos organismos e um conhecimento prévio das variáveis ao nível dos ecossistemas. Entretanto, o tempo disponível para a obtenção desses dados, e as limitações de recursos econômicos justapõem-se à grande diversidade de espécies comuns às áreas tropicais, fazendo com que as informações necessárias para o manejo de áreas impactadas sejam insuficientes. Estudos disvinculados das demandas de projetos desenvolvimentistas devem ser conduzidos continuamente, para a construção do conhecimento e sua disponibilização, quando necessário.

3.6.7. Despreparo da comunidade e usuários para participar das questões ambientais

A inexistência de organismos articulados e atuantes, somada à falta de informação dos próprios usuários da região a respeito dos princípios da gestão integrada e participativa dos recursos hídricos, potencializa a possibilidade de conflitos entre usuários que, na grande maioria dos casos, sequer conhece os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, a implantação do comitê de bacia não foi efetivada, apesar dos esforços de organismos de bacia, em especial o CONÁGUA Alto Tocantins, no estímulo à criação do Comitê do Rio Tocantins. Mesmo atualmente, são poucos os atores e usuários dos recursos hídricos da região que reconhecem a água como um bem de valor econômico, o que reflete o baixo nível de instrução alcançado pelos habitantes da região e identificado no perfil socioeconômico da população residente. O despreparo da comunidade para participar de forma efetiva do processo acentua os problemas ambientais, à medida que as pessoas deixam de assumir os papéis de agente de mudança e transformação, e assumem atitude passiva ou que se contrapõe ao desejado para a sustentabilidade da região. O processo de organização social da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia conta com movimentos ligados às questões sociais e ambientais que surgiram a partir da década de 70. A principal organização atuante, MAB (Movimento dos Atingidos por Barragens), tem destacado papel nos encaminhamentos das reivindicações e negociações da população impactada diretamente pelos reservatórios.

3.7. Opções políticas para eliminação/ mitigação das causas e dos impactos

Considerando a necessidade de minimizar os danos à integridade dos ecossistemas aquáticos e dos recursos hídricos, a partir do presente estudo são recomendadas as seguintes ações associadas a esse e outros empreendimentos na bacia do Tocantins:

- (1) Implantação de sistema de tratamento de efluentes com remoção de fósforo em reservatórios;
- (2) Ampliação e modernização do sistema de monitoramento de recursos hídricos na bacia, com o monitoramento dos níveis sedimentológicos e dos níveis de água;
- (3) Criação de programas de recuperação e conservação de áreas degradadas com recomposição das matas ciliares e de manejo e conservação do solo;
- (4) Desenvolvimento do manejo sustentável de espécies nativas e implantação de empreendimentos para produção de peixes regionais adaptados às potencialidades da região;
- (5) Criação de biopassagens ou Sistema para Transposição de Peixes (STP) para organismos que realizam migração reprodutiva, trófica ou simplesmente deslocamento;
- (6) Regularização da pesca regional a partir da regulamentação com o estabelecimento de cotas de captura, períodos de defeso e a criação de unidades de conservação aquáticas e áreas de exclusão de pesca. A proibição total de captura só caberia nos casos de espécies criticamente ameaçadas de extinção. Dessa forma, cada espécie listada pode ser objeto de medidas específicas de proteção e fiscalizações apropriadas ao seu manejo e conservação;
- (7) Criação de mecanismos que melhorem as condições socioeconômicas, particularmente educacionais das populações locais;
- (8) Implementação de ações que visem proteger os núcleos urbanos e rurais de inundações decorrentes do enchimento dos reservatórios;
- (9) Fortalecimento das instituições locais, com a organização das principais entidades envolvidas e maior participação da população por meio da mobilização social e fortalecimento de associações e cooperativas;
- (10) Fomento à criação/expansão de comitês da bacia hidrográfica e maior divulgação do PNRH para maior participação e controle social;
- (11) Ampliação da comunicação, intercâmbio de informações, educação e conscientização ambiental entre o poder público e as comunidades.

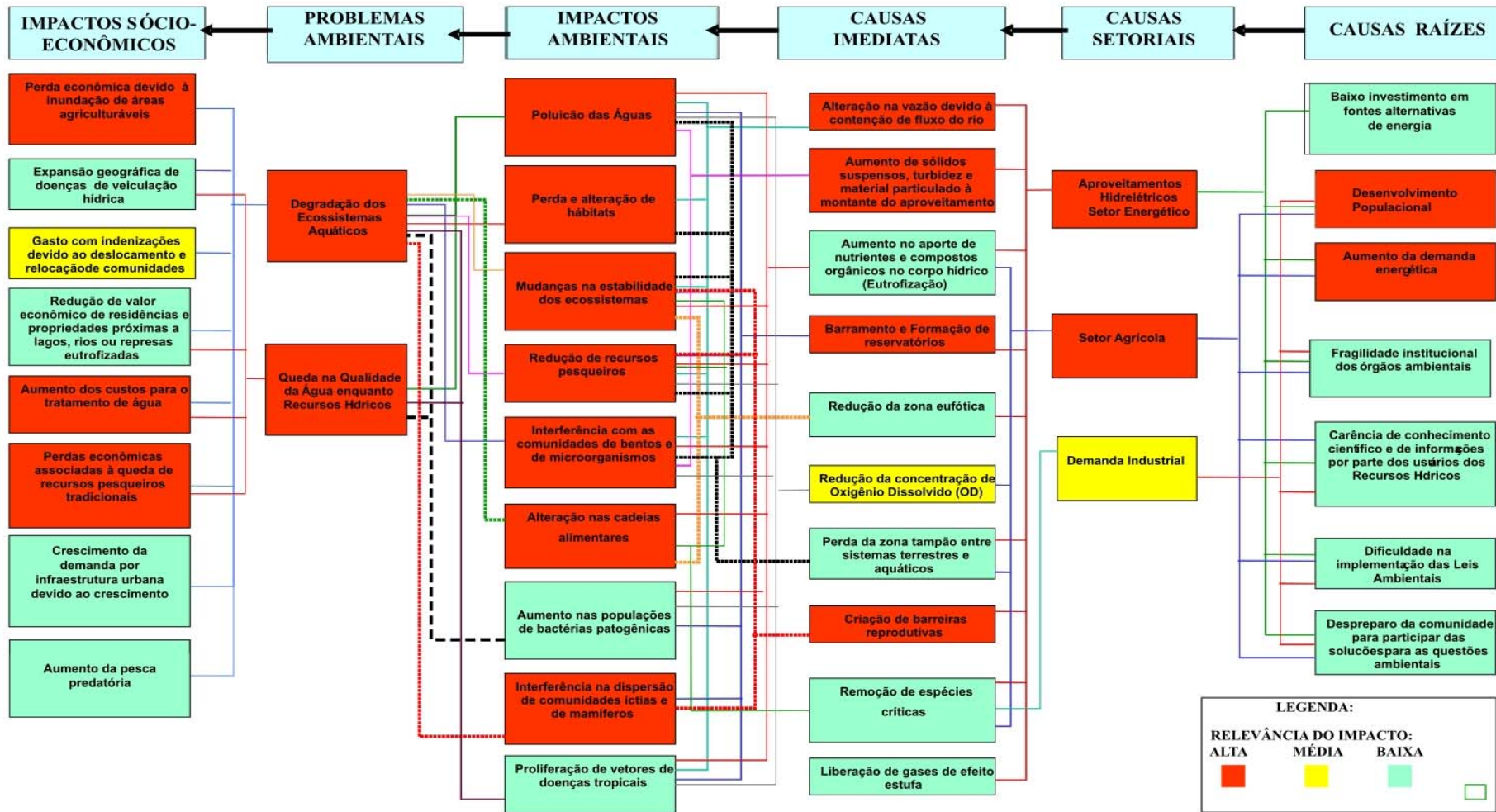


Figura 2. Análise da Cadeia Causal de Impactos nos ecossistemas aquáticos decorrentes da implantação de aproveitamentos hidrelétricos no Tocantins.

4. CONCLUSÃO

Os problemas ambientais selecionados como relevantes para o presente estudo, resultantes da exploração do potencial hidroelétrico da bacia do Tocantins e da ocupação humana - que se apresentam intensamente relacionados - foram a queda na qualidade da água, enquanto recurso hídrico, e a degradação dos ecossistemas aquáticos. A partir da Análise da Cadeia Causal observa-se que a alteração na vazão, devido à contenção de fluxo do rio, o aumento de sólidos suspensos, turbidez e material particulado, resultante do barramento e formação de reservatório com a criação de barreiras reprodutivas foram as principais causas imediatas responsáveis pelos impactos.

Pode-se inferir que o padrão de associações e relações causais múltiplas entre os diferentes impactos e suas causas imediatas reflete a complexidade de interações físico-bióticas observadas nos ecossistemas aquáticos continentais. Cada causa imediata, setorial ou raiz não pode ser considerada separadamente, pois ela pode atuar como fator catalítico e ter efeito sinérgico na geração de impactos. Um determinado impacto pode ser agravado, quando diferentes causas se somam ou quando diferentes impactos resultam em outro(s). A perda de uma única espécie crítica, por exemplo, pode ser o suficiente para desestabilizar todo o ecossistema. Neste sentido, estudos de acompanhamento constante de espécies indicadoras (bioindicadoras) são de extrema relevância, pois permitem a quantificação do aumento ou recuo temporal das ações antrópicas no meio ambiente.

Uma vez que o crescimento do país, acompanhado pelo aumento da demanda por recursos energéticos de matriz hidrelétrica é uma realidade, o bom conhecimento dos impactos, causas e suas correlações é de primordial relevância para que haja progresso e desenvolvimento de forma sustentável e justa.

Este estudo evidencia a necessidade de adoção de políticas de planejamento integrado, em que a gestão ambiental e seus elementos são apenas parte da gestão e planejamento geral, que tem como principal elemento as atividades humanas e seu disciplinamento dentro de um cenário o mais próximo possível da sustentabilidade. Para que as partes funcionem, o todo tem que ser considerado.

O presente trabalho ilustra a utilização de um modelo conceitual (ACC), útil no diagnóstico ambiental e socio-econômico cujo foco não são os impactos ambientais em si mesmos, mas as atividades e escolhas humanas, assim como falhas e fragilidades institucionais que levam a tais impactos como forma de melhor posicionar os tomadores de decisão para formulação de opções políticas efetivas. A principal recomendação deste trabalho é que os estudos preconizados nos projetos originais, a serem conduzidos após a implantação dos empreendimentos de São Salvador e Peixe Angical, tenham os seus dados divulgados, de forma a avaliar e monitorar o grau e a amplitude dos impactos provocados, conforme os abordados no presente trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), pelo apoio, incluindo disponibilização de dados e informações essenciais para este trabalho e pela concessão da bolsa de mestrado para o 1º autor durante o período de estudos. Ao CNPq, pela bolsa de produtividade conferida ao 2º autor.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.; RÉGIS, M. **Águas sem barragens**: campanha interestadual contra a implantação de barragens na Bacia Araguaia-Tocantins. São Luiz.2003. Disponível em: <[http://www.forumcarajas.org.br/forum/cartilha_barragens .pdf?id=10](http://www.forumcarajas.org.br/forum/cartilha_barragens.pdf?id=10)>. Acesso:15 fev. 2007.

SILVA, J. J. L. S.; MARQUES, M.; DAMÁSIO, J. M. Impactos do desenvolvimento do potencial hidroelétrico sobre os ecossistemas aquáticos do Rio Tocantins. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 189-203, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.129)

- ARAUJO-LIMA, C. A. R. M.; AGOSTINHO, A. A.; FABRÉ, N. N. Trophic aspects of fish communities in Brazilian rivers and reservoir. In: TUNDISI, J. C.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (Eds.). **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL, 1995. p. 105-136.
- BIANCHINI JUNIOR, I. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. In: POMPÊO, M. L. M. (Org.). **Perspectivas da limnologia no Brasil**. São Luís: União, 1999. p. 21-43.
- BIODIVERSITAS. **Lista da fauna brasileira ameaçada de extinção**. In: MACHADO, A. B. (Org.). Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 157p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas – ANA. **Avaliação de programas nacionais: versão final – síntese, comentários e recomendações**. 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/prnh_novo/docs/Avaliacao_Programas_Nacionais.pdf>. Acesso: 01 ago. 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Estudo regional da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Caderno regional, Brasília: MMA, 2005. 193p.
- ECONOMIA & ENERGIA. O futuro do sistema elétrico brasileiro. **Economia & Energia**, v. 9, n. 49, abr./maio 2005.
- ENGEVIX. **Aproveitamento hidrelétrico São Salvador**: descrição do empreendimento e diagnóstico ambiental. Palmas: Engevix, 2001. 299p.
- FEARNSIDE, P. M. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. **Environmental Management**, v. 24, n. 4, p. 485-495, 2002.
- GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT - GIWA. **Methodology**. 2005. Disponível em: <<http://www.unep.org/dewa/giwa/methodology/methodology.asp>>. Acesso: 10 ago. 2006.
- GOLDEMBERG, J.; MOREIRA J. R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.
- JUNK, WOLFGANG J.; MELLO, J. A. S. N. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.
- LUIZ, E. A.; GOMES, L. C.; AGOSTINHO, A. A.; BULLA, C. K. Influência de processos locais e regionais nas assembleias de peixes em reservatórios do Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 25, n. 1, p. 107-114, 2003.
- MARQUES, J. F. Elementos para uma abordagem ambiental integrada. In: ORTEGA, E. (Org.). **Engenharia ecológica e agricultura sustentável: exemplos de uso da metodologia energética-ecossistêmica**. São Paulo: Annalume, 2003. 196p.
- MARQUES, M. Análise de cadeia causal da degradação dos recursos hídricos: proposta de modelo conceitual - Projeto GIWA UNEP/ GEF. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE., 2., 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SIMPORH, 2002.
- MARQUES, M.; COSTA, M. F.; MAYORGA, M. I. O.; PINHEIRO, P. R. C. The water environments: anthropogenic pressures and ecosystem changes in the Atlantic drainage basins in Brazil. **AMBIO**, v. 1, n. 33, p. 672-681, 2004.

SILVA, J. J. L. S.; MARQUES, M.; DAMÁSIO, J. M. Impactos do desenvolvimento do potencial hidroelétrico sobre os ecossistemas aquáticos do Rio Tocantins. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 189-203, 2010. ([doi:10.4136/ambi-agua.129](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.129))

MARTINEZ, C. B. Mecanismos de transposição de peixes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2., abril 2000, Canela. **Anais...** Canela: CBDB, 2000.

MARTINS, S. L.; TAMADA, K. **Sistemas para a transposição de peixes**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo: EPUSP, 2000. 30p.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 239-258, 2001.

OLIVEIRA, J. C.; LACERDA, A. K. G. Alterações na composição longitudinal da ictiofauna na área de influência do reservatório de Chapéu d'Uvas, bacia do rio Paraíba do Sul (MG), pouco depois da sua implantação. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 6, n. 1, p. 45-60, 2004.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará**. 2000. 138f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PIEDRAS, S. R. N.; BAGER, A.; MORAES, P. R. R.; ISOLDI, L. A.; FERREIRA, O. G. L.; HEEMANN, C. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 494-500, 2006.

PIRES, S. H. M. Planejamento ambiental da expansão da oferta de energia elétrica: subsídios para a discussão de um modelo de desenvolvimento sustentável para a Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 12, p. 160-184, 2001.

POMPÊO, M. L. M. (Ed.). **Perspectivas da limnologia no Brasil**, São Luís: União, 1999. 198p.

POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, Rio Mucuri, leste brasileiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, n. 2, p. 340-349, 2006.

SALATI, E; SANTOS. A. A. dos; KLABIN, I. K. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, v. 20, n. 56, p. 107-127, 2006.

SILVA, J. J. L. S. **Fitorremediação: processos e aplicações**. 2005. 81f. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

THEMAG ENGENHARIA. Usinas hidroelétricas. São Paulo: Themag, 2000. 200p.

THIENGO, S. C.; SANTOS, S. B.; FERNANDEZ, M. A. Malacofauna límnic da área de influência do lago da usina hidrelétrica de Serra da Mesa, Goiás, Brasil: estudo qualitativo. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 4, p. 867-874, 2005.