

Danos, causados aos múltiplos usos dos recursos hídricos proveniente da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório de uma usina elevatória no município de Barra do Piraí (RJ)

O objetivo do trabalho consiste em apresentar algumas técnicas de valoração econômica ambiental quando não se dispõe de informações completas do mercado, e os resultados obtidos dão um enfoque mais quantitativo do que qualitativo aos custos encontrados. A metodologia foi realizada por meio de análise qualitativa da caracterização dos aspectos geradores dos impactos ambientais durante a fase de construção e operação da usina. Os resultados apontam que, houve a retenção de sedimentos e assoreamento do reservatório, com perda de seu volume útil, e consequentemente comprometimento dos usos múltiplos. Observou-se a partir do cálculo, que a perda dos benefícios (energia elétrica e controle de cheias) totais causados pela erosão e sedimentação, com redução do volume do lago para um período de 48 anos é de R\$ 772.009,30. Em síntese verificou-se que passados quase cinquenta anos da construção da barragem, no início do ano 2000, o município de Barra do Piraí sofreu um desastre – enchente – que desabrigou famílias, destruiu residências, provocou danos incontáveis a infraestrutura pública e ao meio ambiente. Esse desastre totalizou danos dos passivos ambientais e da enchente, que chegam a um valor total de R\$ 14.410.815,95 para o ano de 2001.

Palavras-chave: Sedimentação; Assoreamento; Perda do volume útil; Prejuízos.

Damage caused to multiple uses the water resource arising from the alteration of the flow by the sedimentation and siltation of the reservoir of the elevatory plant of Santa Cecília de Barra do Piraí (RJ)

The objective of the present work consists of presenting some techniques of environmental economic valuation when complete market information is not available, and the results obtained provide a more quantitative than qualitative focus to the costs found. The methodology is carried out through qualitative analysis of the characterization of the aspects that generated the environmental impacts during the construction and operation phase of the plant. The results indicate that there was sediment retention and silting of the reservoir, with loss of its useful volume, and consequent impairment of multiple uses. It was noted from the calculation that the total loss of benefits (electricity and flood control) caused by erosion and sedimentation, with a reduction in the volume of the lake for a 48-year period, is R\$ 772,009.30. In short, it was found that almost fifty years after the dam was built, in early 2000, the municipality of Barra do Piraí suffered a disaster - flooding - that left families homeless, destroyed homes and caused untold damage to public infrastructure and the environment. This disaster resulted in losses from environmental liabilities and the flood, which amounted to a total of R\$ 14,410,815.95 for the year 2001.

Keywords: Sedimentation; Siltation; Loss of useful volume; Damages.

Topic: Engenharia Ambiental

Received: 09/08/2022

Approved: 29/08/2022

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Josimar Ribeiro de Almeida 
Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>
<https://orcid.org/0000-0001-5993-0665>
almeida@poli.ufrj.br

Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9641750996845089>
<https://orcid.org/0000-0001-9528-7670>
ebnrlima@gmail.com

Larissa Rodrigues Turini 
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1863940806021787>
<https://orcid.org/0000-0002-2841-7807>
larissa.tuirni@gmail.com

Gabriel Figueiredo de Moraes 
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8101837260214809>
<https://orcid.org/0000-0002-5137-1421>
gabriel.moraes4@gmail.com

Cleber Vinicius Akita Vitorio 
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4275890458575782>
<https://orcid.org/0000-0001-8337-9615>
cleberakita88@gmail.com

Camilo Pinto de Souza 
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5526361137852985>
<https://orcid.org/0000-0002-5354-3194>
camilo.p.souza18@gmail.com

Tatiana Santos da Cunha 
Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1206792034001854>
<https://orcid.org/0000-0003-1415-5380>
tatiana.cunha@uerj.br

Tetyana Gurova 
Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8505053140543339>
<https://orcid.org/0000-0002-4309-4866>
gurova@lts.coppe.ufrj.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0009

Referencing this:

ALMEIDA, J. R.; LIMA, E. B. N. R.; TURINI, L. R.; MORAES, G. F.; VITORIO, C. V. A.; SOUZA, C. P.; CUNHA, T. S.; GUROVA, T.. Danos, causados aos múltiplos usos dos recursos hídricos proveniente da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório de uma usina elevatória no município de Barra do Piraí (RJ). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.8, p.115-126, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0009>

INTRODUÇÃO

A hidroeletricidade é a base do suprimento energético do Brasil, portanto, os projetos hidrelétricos, no caso brasileiro, assumem especial importância. As obras hidrelétricas, de forma geral, produzem grandes impactos sobre o meio ambiente, que são verificados ao longo do tempo e do espaço físico envolvido. Os impactos mais significativos e complexos ocorrem nas fases de construção e operação da usina, que serão vistos mais adiante.

Segundo Rosa (1995), Tiago et al. (2006), e Gonçalves et al. (2017), a hidroeletricidade, para a situação brasileira, é considerada a melhor opção técnica e econômica, em face dos riscos ambientais e dos custos, se comparada com a energia nuclear. Sendo também a melhor alternativa de geração elétrica quando comparada com a termoeletricidade movida a combustíveis fósseis, pois tem como vantagens o fato de ser renovável e disponível no país a menor custo, apesar alguns autores ponderarem efeitos adversos advindos do uso dessa tecnologia (GOMES, 2016; SILVA et al., 2018; MORAIS, 2021).

Os empreendimentos hidrelétricos se inserem dentro do interesse coletivo de uma sociedade por elevar, através da oferta de energia, a qualidade de vida da população promovendo o uso racional e sustentável do recurso. Para isso, implementa-se a gestão ambiental nas fases iniciais do projeto, passando pela etapa de construção e ao longo da vida útil da usina, com intuito de minimizar os efeitos negativos e maximizar os benefícios do empreendimento. A partir desta concepção, um projeto 'hidrelétrico específico' deve ser considerado como aproveitamento múltiplo, onde o energético faz parte de diferentes usos da água (ALMEIDA et al. 2018, 2010).

A energia hidrelétrica é um dos sistemas que se enquadram nos conceitos de energia limpa por ser a água, uma fonte renovável, entretanto algumas regiões contempladas com esse tipo de energia verificaram que, em lugar de desenvolvimento, houve um retrocesso insustentável ocasionados pelos impactos gerados tais como: como interferência na fauna e flora, perda de solos agricultáveis, aumento do nível de rios ou alteração de seu curso devido ao represamento, e consequente inundação de áreas, conforme apontam Freire et al. (2022). Muitas vezes é necessária a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres para a construção das usinas.

O objetivo central da proposta de trabalho consiste na avaliação e valoração econômica dos passivos ambientais da usina elevatória, localizada no município de Barra do Pirai, durante sua construção e operação que fica localizada nos subsistemas Paraíba-Pirai.

Desta forma, busca-se apresentar algumas técnicas de valoração econômica ambiental quando não se dispõe de informações completas do mercado e os resultados obtidos que dão mais um enfoque quantitativo do que qualitativo aos custos encontrados.

Ademais, serão avaliados os impactos ambientais/socioeconômicos surgidos durante o episódio das fortes chuvas que se abateram sobre a região e a cidade de Barra do Pirai no início do ano de 2000 e que ocasionou o transbordamento do Rio Pirai e Paraíba do Sul, trazendo uma série de consequências à população.

A valoração dos impactos ambientais

A identificação e a valoração dos custos de degradação permitirão uma caracterização global dos custos provenientes dos empreendimentos do Setor Elétrico, auxiliando no planejamento da atividade¹. A incorporação pelo Setor Elétrico deste tipo de custo que envolve os aspectos ambientais como variável de decisão desde as etapas iniciais do processo de planejamento de seus empreendimentos é um avanço na continuidade dos trabalhos iniciados em 1991 pelo Comitê Coordenador das Atividades de Meio Ambiente no Setor Elétrico – COMASE, que encontrava dificuldade durante a identificação dos custos de degradação. O GT – Grupo de Trabalho Custos Ambientais, criado pelo COMASE, reconhece os instrumentos e procedimentos para identificação e incorporação dos custos de controle (são custos incorridos pelo Setor Elétrico para evitar a ocorrência total ou parcial dos impactos socioambientais de um empreendimento), de mitigação, de compensação (são custos incorridos pelo Setor Elétrico para evitar a ocorrência total ou parcial dos impactos socioambientais de um empreendimento), de monitoramento (são os custos incorridos pelo Setor Elétrico nas ações de acompanhamento e avaliação dos programas socioambientais) e institucionais (são os custos incorridos pelo Setor Elétrico na elaboração dos estudos sócios-ambientais referentes às etapas de planejamento, de implantação e de operação; na elaboração de estudos requeridos pelos órgãos ambientais; e na obtenção de licenças ambientais) (TOLMASQUIM et al., 2000). Não sendo verificado tais custos, valida-se, assim, a tentativa de empreender um esforço de identificação e a incorporação dos custos de degradação ambiental dos empreendimentos na tomada de decisão.

Este estudo identifica e seleciona os principais impactos ambientais (passivos ambientais) provocados pelo empreendimento desde a fase de construção da usina na década de 50 (1953). Cada impacto ambiental tem um efeito específico, e diferentes efeitos eventualmente serão avaliados por diferentes metodologias de valoração. Este trabalho não é exaustivo, ele é seletivo na identificação dos impactos e suas respectivas externalidades (efeitos) ambientais de modo a evitar que o processo de valoração se torne muito demorado e custoso, o que dificulta o processo de internalização destas externalidades.

Para identificação e valoração dos impactos ambientais associados à geração de energia elétrica serão adotadas as seguintes etapas (TOLMASQUIM et al., 2000): Caracterização dos aspectos geradores dos impactos ambientais; Caracterização dos respectivos impactos ambientais esperados durante a fase de implantação da ponte de acesso; Identificação dos efeitos decorrentes dos impactos ambientais, usualmente não incorporados ao empreendimento; Identificação das metodologias mais apropriadas à valoração de cada uma das externalidades ambientais; Valoração econômica propriamente dita.

Metodologias de valoração econômica dos danos e recursos ambientais

A forma de valoração oscila necessariamente entre avaliações predominantes tecnocráticas e avaliações coletivas envolvendo as comunidades interessadas. As avaliações baseadas nas comunidades

¹ https://eletrobras.com/pt/EstudantesePesquisadores/acervo_documentos_tecnicos/trabalhos_comase/Comase_voll_Hidreletricas.pdf

interessadas tendem a se afastar do que seria ideal do ponto de vista tecnocrático, pois essas avaliações refletem aspectos culturais, políticos e sociais. Portanto, o objetivo da valoração econômica de um recurso ambiental, consiste em inferir em quanto melhorou ou piorou o bem-estar das pessoas devido às mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não uso (ALMEIDA ET AL., 2001; ALMEIDA et al., 2019, 2009).

Cabe ao analista que valora explicitar com exatidão os limites dos valores estimados e o grau de validade de suas mensurações para o fim desejado. A adoção de cada método dependerá: do objetivo da valoração, das hipóteses assumidas, da disponibilidade de dados e do conhecimento da dinâmica ecológica do objeto que está sendo valorado².

Adiante se encontra uma revisão dos métodos para valoração econômica de impactos ambientais, baseados na estrutura conceitual elaborada durante a realização do Projeto: “Metodologia de Valoração das Externalidades Ambientais da Geração Hidrelétrica e Termelétrica com vistas à sua Incorporação o Planejamento de Longo Prazo do Setor Elétrico” para a Eletrobrás pelo Programa de Planejamento Energético/COPPE/UFRJ (TOLMASQUIM et al., 2000).

A facilidade de utilização e a robustez dos resultados de cada método dependem em grande parte da qualidade dos dados disponíveis. Algumas metodologias são baseadas em dados de mercado, podendo ser tomadas como medidas dos benefícios ou perdas decorrentes da mudança no recurso ambiental e mais fáceis de obter (ALMEIDA et al., 2019, 2013).

O Método da Produtividade Marginal busca medir mudanças na produtividade de sistemas resultantes de mudanças nas condições ambientais, frequentemente avaliadas a preços de mercado. Esta abordagem é útil para avaliar impactos ambientais que afetam a produtividade da atividade pesqueira, florestal, agrícola e de outros ativos (ALMEIDA et al., 2001).

As Despesas de Reposição consideram os gastos adicionais para a reposição, reparo ou manutenção de ativos físicos em decorrência dos impactos ambientais ou gerenciamento inapropriado, só sendo aplicável em situações em que a magnitude do dano pode ser dimensionada e a medida corretiva é possível. Aplicações em correções de danos a solos agrícolas utilizam-se desta abordagem.

As Despesas de Re-localização são uma variante das despesas de reposição. Aborda o custo de realocar uma atividade produtiva cuja eficiência operacional no local de origem tenha sido prejudicada por mudança da qualidade do meio ambiente. Uma aplicação típica refere-se à movimentação de populações quando da construção de represas, cujos custos devem tentar incluir, ainda que qualitativamente, aspectos psicológicos e sociais da re-localização (ALMEIDA et al., 2001).

As Despesas de Prevenção/Mitigação avaliam o dano causado pela degradação ambiental de acordo com os gastos que as pessoas têm na tentativa de evitar um dano ambiental ou outras atividades ofensivas ao bem-estar humano ou ao meio ambiente. O estudo das técnicas alternativas de gerenciamento do solo para aumentar a produtividade agrícola demonstra o uso deste método, cujo valor gasto pelo fazendeiro

² <https://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>

para se prevenir contra a erosão do solo e as perdas com a agricultura devem ser no mínimo maiores que os custos incorridos para a construção de diques (ALMEIDA et al., 2001).

As Despesas de Proteção consistem em identificar os comportamentos econômicos que reflitam indiretamente o valor pago para se proteger de algum dano ambiental. Um exemplo é o da demanda por materiais para isolamento acústico na vizinhança do aeroporto de Heathrow, em Londres. Esta abordagem pode subavaliar o dano, pois no caso do aeroporto, por exemplo, o isolamento acústico poderia ser obtido apenas parcialmente e, mesmo assim, em recintos fechados (ALMEIDA et al., 2001).

Na inexistência de mercados específicos para produtos e serviços ambientais, mercados substitutos ou hipotéticos são utilizados para medir diretamente a demanda pela qualidade ambiental, neste caso, as preferências poderão ser reveladas através de situações reais onde bens e serviços ambientais são afetados por impactos ambientais no qual os indivíduos fazem uma escolha entre o impacto ambiental e outros bens ou renda. Para este tipo de preferência, utilizam-se os métodos de custo de viagem e de preços hedônicos. Entretanto, existem casos em que os impactos ambientais não podem ser valorados desse modo, mesmo indiretamente através do comportamento do mercado. A alternativa é construir mercados hipotéticos para várias opções de redução de danos ambientais e realizar questionamentos diretos acerca dos impactos aos envolvidos, usando o método da valoração contingente. Esta alternativa revela a preferência associada através de mercados hipotéticos (ALMEIDA et al., 2001).

O Método de Custo de Viagem é aplicável para locais de acesso público, portanto sem indicação de propensão a pagar por parte dos usuários. Busca derivar uma curva de demanda usando os custos de deslocamento até o local com proxy para os preços de entrada, determinando dessa forma o valor do bem ou serviço ambiental (ALMEIDA et al., 2001).

A identificação do uso efetivo de locais de recreação/lazer/acesso público pode ser mensurada normalmente durante as visitas de turistas que são entrevistados nas áreas de lazer, buscando informações referentes ao local de estada do visitante, distância viajada, frequência e custo de viagem das visitas entre outros. Este método se apresenta como uma metodologia muito prática quando há um controle do fluxo turístico para áreas naturais, como parques nacionais, estaduais ou municipais (ALMEIDA et al., 2001).

O Método de Preços Hedônicos busca mediar os impactos ambientais identificando seus efeitos sobre os preços das propriedades. Baseia-se no conceito do que o valor de uma propriedade é diretamente relacionado ao fluxo futuro de benefícios dela esperado. Tem sido amplamente aplicado na avaliação de impactos sobre residências, mas pode ser também utilizado para propriedades rurais e outras. Este método requer um levantamento de dados minuciosos, como informações sobre atributos referentes à propriedade, além dos ambientais, que influenciam o preço desta. Torna-se difícil à utilização, pois os preços de propriedade não internalizam as futuras melhoras (ou piores) ambientais. É possível que os preços de propriedade sejam subestimados por razões fiscais para reduzir os valores de impostos incidentes (ALMEIDA et al., 2001).

O Método da Valoração Contingente é aplicável em situações em que não são disponíveis dados de

mercado, o que é comum em impactos ambientais. Baseia-se no pressuposto de que os consumidores podem determinar e irão revelar sua disposição em pagar por bens ou serviços para os quais não existe mercado, quando colocados diante de um mercado hipotético (ALMEIDA et al., 2001).

O método da valoração contingente tem merecido atenção crescente como instrumento para avaliação de impactos ambientais, permitindo inclusive a avaliação dos valores de existência dos bens/serviços ambientais, que não poderiam ser obtidos por outros meios, como a diversidade genética. A aplicação desta técnica não é trivial e envolve custos elevados de pesquisa (ALMEIDA et al., 2013, 2010).

As preferências reveladas nas pesquisas refletem as decisões que os agentes tomariam de fato, caso existisse um mercado para o bem ambiental descrito, que serão expressas em valores monetários. Esses valores são obtidos a partir de informações que são adquiridas de um questionário que revela a disposição a pagar dos indivíduos para garantir a melhoria de bem-estar, além de dados socioeconômicos e informações sobre o conhecimento dos entrevistados a respeito da questão ambiental. Alguns vieses afetam a confiabilidade do método, mas podem ser minimizados pelo perfil do questionário e da amostra (ALMEIDA et al., 2001).

Não se deve negar a dificuldade de se realizar a valoração econômica de recursos ambientais, por conta da irreversibilidade das condições ambientais pré-existentes, da singularidade dos ecossistemas e do desconhecimento do futuro. Porém, devido a verdadeiros desastres (acidentes, vazamentos,...) ocorridos no Brasil e no mundo, verificou-se a necessidade de se estabelecer formas de contabilizar estes danos ambientais (ALMEIDA et al., 2001).

Caracterização dos aspectos geradores dos impactos ambientais

O fator gerador dos impactos ambientais associados à usina elevatória do presente estudo teve início na fase de construção quando ocorre a inundação da área (incluindo as terras marginais), e se propagou durante a fase de operação, com a alteração do fluxo de água, a ruptura da barragem, e outros fatores causadores dos impactos que são vistos no Quadro 1.

Quadro 1: Impactos do ciclo de vida de uma hidrelétrica.

Causador	Receptor	Impacto
Durante a construção		
Abertura de acesso e tráfego de máquinas	Público em geral	Perturbação pelo ruído Acidentes Efeitos à saúde das emissões áreas
	Qualidade do ar	Emissões dos motores dos veículos
	Mudança do clima (efeito estufa) - CO ₂	Emissões dos motores dos veículos
	Vida selvagem	Perturbação pelo ruído
	Florestas	Aumento dos acessos a áreas de florestas Perda de futura produção
Locais de empréstimo e depósito de resíduos de rocha e obra	Público em geral	Redução temporária do valor recreacional pela alteração na estética
	Agricultura	Perda temporária de terras agricultáveis
	Florestas	Perda temporária no crescimento da floresta
	Ecossistemas terrestres	Perda de habitat
Acidentes pela construção	Trabalhadores	Lesões leves e mortes
Sobrecarga na infraestrutura pré-existente	Público em geral	Sobrecarga na infraestrutura pré-existente
Alteração do fluxo de água pelo represamento e atenuação dos picos de cheias e vazantes com aumento do tempo de residência da água do reservatório.	Peixes e fauna aquática	Perda do habitat
	Vegetação	Perda do habitat
	Fauna terrestre e alada	Perda do habitat
	Vida Selvagem	Perda do habitat

	Qualidade da água	Eutrofização (proliferação de algas macrófitas flutuantes e produção de odor e sabor) /Acidificação Estratificação do meio aquático em níveis de temperatura, luz e por sólidos em suspensão/depositados
	Agricultura	Perda de áreas de cultura pela variação nas margens e no nível do lençol freático Perda de fonte para irrigação
	Público em geral	Efeitos estéticos-culturais com perda de cachoeiras e outros sítios Perda de áreas para atividade recreacionais de pesca, banho, caminhada, esqui e caça Perda nos usos múltiplos do recurso hídrico: geração, controle de cheias, irrigação, abastecimento provocada pela sedimentação e assoreamento do reservatório Efeitos à saúde pela criação de condições propícias aos vetores de doenças de veiculação hídrica
	Navegação	Variações nos cursos navegáveis
Barragem/reservatório	Agricultura	Perda de terras agricultáveis pelo alagamento e pela retenção de sedimentos
	Floresta	Perda de produção futura pelo alagamento e pela retenção de sedimentos
	Outras atividades do setor primário (pecuária etc.)	Perda de outras atividades do setor primário pelo alagamento.
	Atividades do setor secundário (indústria. etc.)	Perdas de atividades do setor secundário
	Atividades do setor terciário (comércio e serviços)	Perdas de atividades do setor secundário
	Fauna terrestre e alada	Perda do habitat
	Fauna aquática	Perda do habitat
	Biodiversidade	Perda de biodiversidade e de material genético
	Público em geral	Perda de habitat (moradia e infraestrutura) e recolocação da população local Variação de áreas para atividades recreacionais Mudanças no clima local
	Mudanças do clima (efeito estufa) - CH2 e CO1	Emissões da biomassa alagada e da matéria que passa a ser depositada devido a alteração do fluxo causada pelo barramento
	Recursos minerais	Perda de recursos minerais
Recursos culturais e arqueológicos	Perda de recursos culturais e arqueológicos	
Acidentes pela operação da usina	Trabalhadores	Lesões leves e morte
Ruptura de barragem	Público em geral	Lesões leves e morte
	Infraestrutura	Danos e rodovias, edificações,...

Fonte: Reis (2001).

Caracterização dos respectivos impactos ambientais durante a fase de construção e operação da usina

Inúmeros são os impactos ambientais/sociais provenientes da construção e operação de usinas hidrelétricas sobre o meio físico, biótico e socioeconômico (Quadro 1). O impacto primordial do aproveitamento da energia hidrelétrica dos rios consiste em modificar as condições do reservatório ou curso d'água, de maneira a atender as demandas de energia elétrica (ALMEIDA et al., 2010,2009). A partir da sistematização dos impactos, dos aspectos geradores e agentes receptores que são verificados no Quadro 1, serão definidas as externalidades apropriadas à valoração.

Identificação dos efeitos decorrentes dos impactos ambientais

Da observação do Quadro 1, é estabelecida uma seleção de impactos que provocam danos ambientais e socioeconômicos significativos, a partir de critérios baseados no grau de importância para o desenvolvimento sustentável da economia local e na dificuldade em extinguir a externalidade através da adoção de medidas de controle, compensação ou mitigação (ALMEIDA et al. 2019, 2018).

Danos causados à agricultura e outras atividades do setor primário proveniente da alteração do fluxo de água, da barragem e de locais de empréstimo e depósito de resíduos de roca e de obra. Danos causados às florestas provenientes da construção de acessos, de locais de empréstimos e despejos de resíduos de

rocha e de obra, de barragem. Danos causados aos múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração de energia) provenientes da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório. Danos causados à saúde humana pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica – diarreia, transmitida por mosquitos e malária, decorrente de alteração do fluxo. Danos aos recursos minerais durante a fase de construção e operação da usina. Danos aos recursos culturais (incluindo a estética), arqueológicos, aos ecossistemas terrestre e aquático e a biodiversidade durante a fase de construção e operação.

Identificação das metodologias mais apropriadas à valoração de cada uma das externalidades ambientais e posterior valoração

Neste item, as externalidades a serem valoradas são apresentadas, acompanhadas dos métodos de valoração propostos. Vale ressaltar que para algumas externalidades, utilizou-se estudos internacionais e nacionais para estimar uma base para chegar a valores aproximados devido a limitação da natureza de dados para esta região e do tempo.

Metodologia de valoração do dano causado aos múltiplos usos do recurso hídrico – a geração de energia e o controle de cheias

Uma vez que nem todo material erodido é carregado e depositado no reservatório, para obter o material que é efetivamente depositado no reservatório, utiliza-se uma função que correlaciona o sedimento anual do solo no reservatório (S), como o solo carregado pela região a montante (PA), com a erosão dos canais (|), com a erosão da ocupação do leito (B) e com a taxa de despejo de sedimentos (D).

$$S = (PA + E + B) * D \quad \text{Eq. 1}$$

Assim, a taxa de erosão anual é multiplicada pela área do corpo d'água em hectares, pelo fator de erosão (PA + E + B) e pela taxa de despejo dos sedimentos (D). Como não existem dados disponíveis, para este estudo, consideram-se as taxas de despejo de sedimentos de 0,20 e fator de erosão de 1,56. Tem-se que:

$$\text{Taxa de erosão anual} \left(\frac{t}{há} \right) * \text{área} * 1,56 * 0,2 * 0,1 \quad \text{Eq. 2}$$

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo apontam que com o represamento, houve a retenção de sedimentos e assoreamento do reservatório, com perda de seu volume útil, e consequentemente dos usos múltiplos (atividades de geração, controle de cheias, irrigação, abastecimento).

Segundo relatório da LIGHT, os únicos usos decorrentes da usina são a geração de energia e o controle de cheias. Como a erosão afeta a produtividade destas atividades, será adotada a metodologia da produtividade marginal, enfocando o impacto da erosão na magnitude destes benefícios.

Aplicação da metodologia de valoração do dano causado aos múltiplos usos do recurso hídrico: a geração de energia e o controle de cheias

Para se chegar ao volume sedimentado no reservatório, faz-se a correlação da erosão com os diversos tipos e usos do solo a montante e ao redor do reservatório utilizando a equação universal da perda de solo, cuja perda do solo é função de fatores como o fator de declividade do solo, fator de erosividade (é a capacidade de um agente (chuva, vento) provocar a erosão) da chuva e de erodibilidade (é a susceptibilidade que os solos têm em ser erodidos) do solo (TOLMASQUIM et al., 2000). Após esta etapa, encontra-se a perda anual total que é resultado do produto das perdas de solo de cada tipo de solo pela área de cada um destes tipos. Como forma de simplificação do problema, suprimiu-se a etapa da equação universal da perda de solo e utilizaram-se taxas compostas de erosão para a região como um todo (DIXON, 1994; REIS, 2001).

Como não existem dados para as taxas de erosão, visando apenas demonstrar como se dá o exercício de aplicação do método e chegar a um valor aproximado do dano, considera-se que as taxas de erosão são de 40/ha/ano no ano zero, e crescentes devido ao aumento populacional e econômico nesta região do vale do Paraíba do Sul – Piraí até 80/há/ano vinte anos depois, nos trinta anos restantes esta taxa ficará constante (DIXON, 1994). O fator que converte o volume erodido no que chega ao reservatório é de 142,15.

A capacidade de retenção do reservatório no volume útil é de 0,30 (DIXON, 1994), isto é, do total de sedimentos que chega ao reservatório, apenas 30% são depositados. Assim, o fator que converte o volume que chega no que é sedimento é de 0,30.

Baseando-se nos dados de tarifa média de fornecimento ao consumidor final (US\$ 80,97/MWh), no custo médio de operação padrão (US\$ 40/MWh), o volume útil do reservatório ($116,9 * 106 \text{ m}^3$) no fator de capacidade médio (0,55) da Usina de Simplício que localiza no rio Paraíba do Sul (Eletrobrás, 1999), os benefícios anuais da geração de energia são de US\$ 40,97/MWh (US\$ 80,97/MWh – US\$ 40/MWh). Considerando o fator de capacidade médio, o benefício corresponderá a US\$ $35,53 * 106$ (US\$ 40,97/MWh * 180 MW * 365 dias * 24h/dia * 0,55). Uma vez que não se encontram os cálculos nacionais para os ganhos da regularização, adota-se a mesma proporção com os ganhos de energia do estudo de Nam Pong, o que nos leva a benefícios anuais de US\$ $15,73 * 106$. Assim, os benefícios anuais do projeto no ano base (sem perda de volume por sedimentação) são de US\$ $51,26 * 106$.

Para se calcular como variam os benefícios ao longo dos anos, adota-se a hipótese do estudo de Nam Pong de que os benefícios anuais são uma função linear da capacidade efetiva de armazenamento. Para o volume útil do reservatório, é utilizado o volume de Simplício que é de $116,9 * 106 \text{ m}^3$. Assim a perda de benefícios é de US\$ $0,438/\text{m}^3$ ($51,2 / 116,9$).

A perda dos benefícios (energia elétrica e controle de cheias) totais causados pela erosão e sedimentação, com redução do volume do lago para um período de 48 anos (2001 – 1953) é de R\$ 772.009,3 (taxa de desconto de 6%). Este estudo tem a limitação de arbitrar dados de taxas de erosão anual, bem como de outros parâmetros como o fator de erosão e a taxa de despejo de sedimentos.

Valoração econômica dos passivos ambientais

Os impactos da usina durante a fase de construção e de operação sobre a agricultura e as atividades primárias, as florestas, aos múltiplos usos do recurso hídrico – geração de energia e controle de cheias – e os recursos naturais, culturais, históricos e arqueológicos equivalem ao valor total de R\$ 3.647.865,95 (R\$ 1.642.596,95 + R\$ 508.556,30 + R\$ 772.009,30 + R\$ 724.703,40) durante o período de aproximadamente 48 anos (1953 – 2001).

Vale lembrar que não foram indicados acima os impactos sobre a saúde humana por conta da ausência de dados e sobre os recursos minerais por não haver dados que comprovem sua presença durante o período.

Baseando-se em diversos estudos sobre os danos à saúde humana, verifica-se que a não contabilizado do dano à saúde traz uma grande diferença no valor do dano total provocado pela hidrelétrica, na casa dos mil reais.

Valoração econômica dos danos socioambientais provocados pela enchente

O valor dos danos elencados pelo Sistema Nacional de Defesa Civil (item V) decorrentes da enchente ocorrida em janeiro de 2000 equivale a: residências populares danificadas e destruídas: R\$ 690 mil, edificações públicas de saúde: R\$ 20 mil, edificações públicas de ensino mais as perdas materiais e alimentícias: R\$ 24 mil + R\$ 17 mil = R\$ 41 mil, obras de arte: R\$ 1.870 mil, pavimentação de vias urbanas: R\$ 345 mil, muros de contenção – construção e reforma: R\$ 434 mil, pontes de veículos e de pedestres: R\$ 1.890 mil, comunitárias: R\$ 40 mil, unidades comerciais afetadas: R\$ 3.500 mil, água: esgotos sanitários: R\$ 10 mil, solo: erosão, deslizamento: R\$ 779 mil, flora: mata ciliar: R\$ 200 mil, estações de tratamento: R\$ 200 mil, energia elétrica: consumidor sem energia: R\$ 187 mil, rede coletora: R\$ 100mil, lixo: R\$ 10 mil. O total dos danos é estimado em R\$ 10.316 mil (2000). Atualizando o valor para 2001, chega-se no total de R\$ 10.762,95 mil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a valoração econômica dos passivos ambientais, o custo econômico dos danos durante o período da construção e operação de usinas (1953) até hoje (2001) foi valorado em R\$ 3.647.865,95. Enquanto a enchente ocorrida no ano de 2000 provocou um dano equivalente a R\$ 10.762,95 mil (item 6). Totalizando os danos dos passivos ambientais e da enchente, chega-se um valor total de R\$ 14.410.815,95 para o ano de 2001.

O primeiro valor é uma estimativa aproximada do valor total dos danos decorrentes da implementação da usina que provocou impactos sobre a agricultura e as atividades primárias, as florestas, aos múltiplos usos do recurso hídrico – geração de energia e controle de cheias – e aos recursos naturais, culturais, históricos e arqueológicos no período de 48 anos. Utilizaram-se dados aproximados ou com características semelhantes à da região de análise para estimar alguns valores de danos. Apesar da

dificuldade, realizou-se o exercício de quantificação dos passivos ambientais e socioeconômicos e das valorações correspondentes, que se tornam um parâmetro importante na tomada de decisão a nível político e econômico. A não contabilização deste passivo, pode-se vir a ser imputado futuramente ao empreendedor.

Passados quase cinquenta anos, no início do ano 2000, Barra do Pirai foi palco de um desastre – enchente – que desabrigou famílias, destruiu residências, provocou danos incontáveis a infraestrutura pública e ao meio ambiente (elencado no item V). Estes danos contabilizam um total de cerca de dez milhões de reais, com base nos valores do Sistema Nacional de Defesa Civil e da Coordenadoria Municipal. Os danos poderiam ser reduzidos se tivesse construído uma barragem para regularizar as águas do rio Pirai e se houvessem ações preventivas (reflorestamento) e corretivas (dragagem dos rios e de reservatórios) para reduzir a erosão e o assoreamento do reservatório. Infelizmente, o município não se recuperou totalmente do episódio das chuvas de verão 2000.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; SILVA, C. V. V.; AGUIAR, L. A.; GARCIA, V. S.; SOUZA, C. P.; LENZ, E. R. S.; LINS, G. A.; ALMEIDA, S. M.. Multifatorialidade em saúde ambiental. *Environmental Scientiae*, v.1, p.26-47, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2674-6492.2019.002.0002>.

ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; SILVA, C. V. V.; AGUIAR, L. A.; GARCIA, V. S.; SOUZA, C. P.; LENZ, E. R. S.; LINS, G. A.; ALMEIDA, S. M.. Política e economia de vigilância em saúde ambiental. *Environmental Scientiae*, v.1, p.1-25, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0001>.

ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. D.; SILVA, C. V. V.; CARVALHO, L. O.; SILVA, C. E.; RIGUEIRAL, L. H. G; PAULA, R. G.. Structure and floristic survey of a forest fragment in the Billings Reservoir, São Paulo. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.9, p.1-11, 2018.

ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; RODRIGUES, M. G.. Avaliação dos impactos ambientais do desflorestamento sobre o regime hídrico da região metropolitana de Petrópolis (RJ). *Engineering Sciences*, v.1, p.6-13, 2013. DOI: <https://doi.org/10.6008/ESS2318-3055.2013.001.0001>

ALMEIDA, J. R.; AQUINO, A. R.; LINS, G. A.. Influência dos impactos ambientais na elaboração de plano de controle ambiental em Usina Termoelétrica do sistema elétrico brasileiro isolado, na região amazônica. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.12, p.149-156, 2010.

ALMEIDA, J. R.; RODRIGUES, M. G.; LINS, G. A.. Implementation of thermoelectric plants with the aid of environmental and technical criteria. *Revista Ciências Exatas*, v.1 p.10, 2009.

DIXON, J.A., SCURA, L.F.; CARPENTER, R.A.; SHERMAN, P.B *Economic Analysis of Environmental Impacts*. Londres: Earthscan Publications, 1994.

SANTOS, E. D.; BRINDEIRO, F. O. S.; MELLO, R. G.. Fontes de energias renováveis e não renováveis no estado do Maranhão: os efeitos gerados ao meio ambiente. In:

Energias renováveis e valorização de resíduos: O caminho para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: e-Publicar 2022.

GOMES, L. S.. **Avaliação do potencial energético aplicado a uma usina termelétrica de fontes renováveis.** Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

GONÇALVES, O. A. V; GUTIERREZ, R. H.; DOS SANTOS, I. J. A. L.. Método para identificação dos critérios utilizados na gestão do consumo de energia elétrica: estudo de caso em um instituto de pesquisa da área nuclear. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, v.5, n.7, p.116-131, 2017.

MORAIS, R. C. **Análise do impacto da expansão de novas renováveis variáveis no custo de geração de energia elétrica no Brasil.** Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

REIS, M. M.. **Custos ambientais associados a geração de energia elétrica: Hidrelétrica x Termelétrica a gás natural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ROSA, L. P.. **Estado, energia elétrica e meio ambiente.** Rio de Janeiro: UFRJ, 1998.

SILVA, L. R. J. R.; SHAYANI, R. A.; DE OLIVEIRA, M. A. G.. Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. **Anais.** Rio de Janeiro, 2018.

TIAGO, G. L; GABETTA, J. H.; CAMPOS, B. T. L. C.. As microcentrais hidrelétricas (μ CH) como alternativa de atendimento as comunidades isoladas: um estudo de caso. *Enc. Energ. Meio Rural*, v.6, 2006.

TOLMASQUIM, M.T. et al. **Metodologias de Valoração de Danos ambientais causados pelo Setor Elétrico.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157969330057510913/>