

AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA NO ESTUDO DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO: ferramenta auxiliar à tomada de decisão

Afonso Henriques Moreira Santos¹; Benedito Cláudio da Silva,² Maíra Dzedzej,³; Thiago Roberto Batista⁴ & João Paulo Braga⁵

RESUMO Os estudos de inventário hidrelétrico correspondem a uma etapa do processo de elaboração de projetos de centrais hidrelétricas onde são identificados aproveitamentos ao longo de toda extensão de um ou mais rios. No inventário é realizado um dimensionamento preliminar dos aproveitamentos identificados, devendo-se buscar o aproveitamento energético ótimo de todo o rio. O índice ambiental é feito com base nos conceitos ambientais empregados no setor elétrico e áreas afins, legislação ambiental vigente, e nos princípios e programas relacionados a sócio economia, questões ambientais e seus respectivos impactos. Após este dimensionamento os “melhores” aproveitamentos são selecionados com base na análise custo x benefício e custo unitário *versus* índice ambiental.

ABSTRACT Hydropower inventories studies correspond to a stage of development of hydropower plants projects. In this stage the potentials are identified along one or more rivers. In the inventory a preliminary identification of the size of the potentials carried out the optimum potential along the river. The environmental index is made based on environmental concepts used in the energy sector and related areas, current environmental legislation, principles and programs related to socioeconomics, environment issues and their impacts. After identifying the size of the sizing the best potentials, they are selected based on cost-benefit analysis and unit cost versus environmental index.

Palavras-Chave: PCH, avaliação ambiental integrada, inventário hidrelétrico.

¹ Professor da UNIFEI. Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG. 37500-000. afonsohms@gmail.com

² Professor da UNIFEI. Av. BPS, 1303 – Itajubá / MG. 37500-000. silvabenedito@gmail.com

³ Pesquisadora da iX Consultoria. R. Cel. Joaquim Francisco, 341 – Itajubá/MG. 37501-052. maira@ixconsult.com.br

⁴ Pesquisador da iX Consultoria. R. Cel. Joaquim Francisco, 341 – Itajubá/MG. 37501-052. thiago.batista@ixconsult.com.br

⁵ Pesquisador da iX Consultoria. R. Cel. Joaquim Francisco, 341 – Itajubá/MG. 37501-052. joão.braga@ixconsult.com.br

1 - INTRODUÇÃO

O Estudo de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas é um instrumento de planejamento do Setor Elétrico para definição do potencial energético de um determinado rio ou bacia hidrográfica cuja metodologia foi sendo atualizada desde os estudos da CANAMBRA na década de 60 até a elaboração do Manual de Inventários elaborado pela ELETROBRÁS/ANEEL de novembro de 1997. Na última atualização deste manual foi contemplada a introdução das variáveis ambientais e de usos múltiplos da água como critério para definição da melhor alternativa de partição de quedas (CEPEL, 2007).

Esta metodologia tem como objetivo auxiliar a tomada de decisão na seleção de alternativas e aproveitamentos hidrelétricos de menor impacto socioambiental. Para isso levam-se em conta elementos que refletem os impactos nos ecossistemas aquáticos, ecossistemas terrestres, modos de vida, organização territorial, base econômica e populações indígenas/ tradicionais.

Como resultado da aplicação desta metodologia tem-se uma avaliação do quão à eventual implantação do aproveitamento é potencialmente impactante, bem como realizar uma comparação embasada entre alternativas.

Para a determinação do índice ambiental por aproveitamento é necessária a identificação dos processos impactantes baseada em um diagnóstico socioambiental e estudos de engenharia. Os critérios de avaliação, bem como a definição das sub-áreas de referência, observam rigorosamente as recomendações do Manual de Inventário Hidrelétrico das Bacias Hidrográficas (CEPEL, 2007), que tratam este tipo de avaliação como AAI (Avaliação Ambiental Integrada). Devido à importância da questão socioeconômica utiliza-se neste artigo a nomenclatura ASAI (Avaliação Socioambiental Integrada).

O Impacto Ambiental, definido no Art.1º, Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986 é *“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.”*

Considera-se que as questões ambientais devem estar contempladas desde a concepção do projeto, para antever e dimensionar os impactos ambientais e seus mecanismos de compensação e controle e assim, proporcionando menores problemas futuros principalmente em relação à fauna e a flora.

A aplicação da Avaliação Ambiental Integrada (AAI) de aproveitamentos hidrelétricos tem como objetivo, definido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), *“...avaliar a situação*

ambiental da bacia com os empreendimentos hidrelétricos implantados e os potenciais barramentos, considerando seus efeitos cumulativos e sinérgicos sobre os recursos naturais e as populações humanas, e os usos atuais e potenciais dos recursos hídricos no horizonte atual e futuro de planejamento considerando a necessidade de compatibilizar a geração de energia com a conservação da biodiversidade e manutenção dos fluxos gênicos, e sociodiversidade e a tendência de desenvolvimento socioeconômico da bacia, a luz da legislação e dos compromissos internacionais assumidos pelo governo federal”.

Alguns Termos de Compromisso firmados junto à órgãos ambientais apresentam comprometimento de adotar como diretrizes gerais, após aprovadas e concluídas as indicações dos estudos que compõe a AAI para subsidiar o processo de licenciamento ambiental como por exemplo, a AAI do Rio Uruguai junto ao IBAMA. Sendo assim, estes estudos além de diagnosticar a região e área do empreendimento quanto aos impactos e fragilidade subsidiam subseqüentes etapas no processo de licenciamento.

Em uma escala um pouco mais macro, a Avaliação Ambiental Integrada (AAI) é útil para o empreendedor e para a avaliação, fiscalização e gestão dos órgãos ambientais, pois subsidia um componente importante, a Gestão Ambiental Integrada (GAI)

2 – METODOLOGIA DE AAI

A Avaliação Socioambiental Integrada compõe os seguintes requisitos básicos:

- Subsidia a avaliação e tomada de decisão dos empreendimentos;
- Subsidia o desenvolvimento iniciando a identificação de indicadores de sustentabilidade para a bacia;
- Delimita as áreas de fragilidade ambiental e de conflitos/impactos;
- Identifica as potencialidades socioeconômicas relacionadas aos aproveitamentos;

Os componentes-síntese e os elementos de avaliação utilizados para a avaliação de impacto socioambiental são aqueles relacionados no manual, com adaptações para a situação específica de cada projeto. São adotados mecanismos que evitam a atribuição subjetiva de valores indicativos do impacto, mas nunca deixando de lado a sensibilidade dos especialistas envolvidos na avaliação.

Assim, os diversos elementos de avaliação são desdobrados em parâmetros, passíveis de quantificação, conforme sugerido no Manual. Busca-se estabelecer uma relação matemática capaz de avaliar a intensidade do impacto esperado do aproveitamento para cada um destes parâmetros, sempre referidos à sub-área correspondente. A aplicação desta metodologia aos inventários de

aproveitamentos hidrelétricos permite a seleção adequada de alternativas e de aproveitamentos de menor impacto socioambiental.

Para a definição/escolha do conjunto de aproveitamentos ou para avaliação entre aproveitamentos é importante a análise conjunta de indicadores de custo benefício e indicadores ambientais resultando no gráfico de resíduos utilizado na tomada de decisão.

Nos itens seguintes são apresentados alguns componentes-síntese usados na Avaliação Socioambiental Integrada - ASAI para a avaliação e seleção dos aproveitamentos, em estudos de inventário hidrelétrico.

2.1 – Contextualização da Avaliação Socioambiental Integrada

A metodologia aplicada na ASAI depende da região estudada com suas características específicas e da implantação do conjunto de empreendimentos estudados e avalia os efeitos sinérgicos e cumulativos resultantes dos impactos ocasionados pelo conjunto dos aproveitamentos hidrelétricos em todas as fases (planejamento, construção e operação) seguindo basicamente: I. Caracterização da bacia; II. Avaliação Ambiental Distribuída (indicadores que vão compor os componentes-sínteses e caracterização destes por regionalização, por aproveitamento e sinérgicos); III. Identificação de conflitos/impactos com a implantação de um empreendimento;

Contextualizando individualmente a metodologia tem-se os seguintes pontos: **a.** Matriz de interferência: por componente síntese (sim ou não); **b.** Matriz de avaliação de impacto: por impacto quanto à natureza (benéfica ou adversa), ocorrência (quanto a probabilidade), duração (permanente, cíclica ou temporária), reversibilidade (reversível ou irreversível), magnitude (fraca, moderada ou forte) e alcance (disperso ou localizado); **c.** Matriz de valoração: por impacto e equalizada por componente síntese.

A ASAI gera produtos que são rediscutidos após participação pública que compõe as reuniões técnicas e os seminários de consultas públicas e estes produtos geram diretrizes para subsidiar futuros estudos e a implementação de empreendimentos.

2.2 - Determinação dos índices de impacto ambiental

Para a composição do índice de impacto por aproveitamento é necessária a identificação dos processos impactantes baseada em um diagnóstico ambiental, estudos de engenharia e na sensibilidade da equipe executora. Essa sensibilidade determina também a forma de aplicação da metodologia de composição dos estudos.

Uma vez conhecida as particularidades dos possíveis locais dos aproveitamentos define-se sub-áreas com características homólogas referentes a aspectos socioambientais, geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos. Esse mapeamento em sub-áreas constitui na determinação da fragilidade dos mesmos, que é uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Para a avaliação do impacto de cada aproveitamento sobre os ecossistemas aquático e terrestres das sub-áreas, foram analisados os diversos ambientes bióticos relevantes para a manutenção da biodiversidade e os impactos previstos sobre estes, a serem causados pela construção e operação da barragem. O grau de impacto é definido levando em conta o conhecimento e o bom senso da equipe responsável pois neste momento não são realizadas campanhas de campo efetivas para subsidiar alguns componentes.

Ecossistemas Aquáticos

A análise para ecossistemas aquáticos é realizada com base nos diversos ambientes bióticos relacionados ao sistema de drenagem, buscando assim identificar o grau de comprometimento dos ambientes de suporte da diversidade biológica.

Extensão total do ambiente aquático a ser modificado

O grau de impacto (GIE) é definido como sendo a razão entre a extensão total do ambiente aquático alagado (EA_{APROV}) pelo reservatório criado através do barramento em estudo e a extensão total do ambiente aquático na sub-bacia em questão (EA_{TOTAL}), conforme expressão (1).

$$GIE = \frac{EA_{APROV.}}{EA_{TOTAL}} \quad (1)$$

Hierarquia fluvial relativa

Para determinação deste elemento é necessária a construção de um mapa com a hierarquia relativa das drenagens, definindo-se, para cada aproveitamento, a ordem relativa da drenagem barrada. O grau de impacto (GIH) é definido pela relação direta entre a ordem da drenagem na área afetada pelo barramento e a maior ordem de drenagem ocorrente na sub-bacia, conforme expressão (2).

$$GIH = \frac{HF_{APROV.}}{HF_{TOTAL}} \quad (2)$$

Ictiofauna

Para a mensuração da ictiofauna leva-se em conta o conhecimento e bom senso da equipe responsável e pesquisa secundária de bibliografia técnica.

Conflitos de uso da água

Toma-se como base para a mensuração deste impacto os possíveis conflitos pelo uso da água de acordo com a demanda regional e as outorgas no trecho em estudo considerando os tipos de uso (tipo e finalidade).

Estimativa de perdas de ambientes ecologicamente estratégicos

Para o cálculo deste índice são avaliados recursos indiretos que estimam as perdas de ambientes ecologicamente estratégicos. Os graus de impacto causados pela perda destes ambientes são estimados pela relação entre o número de ambientes comprometidos por aproveitamento e o somatório dos ambientes existentes na sub-bacia analisada, conforme expressão (3).

$$GIAE = \frac{AE_{APROV.}}{AE_{TOTAL}} \quad (3)$$

Perda de vegetação marginal

As vegetações que compõem as faixas ciliares/ áreas de preservação permanente são determinadas de acordo com a largura dos rios e a legislação ambiental vigente e são aqui chamadas de vegetação marginal. Para determinação deste grau de impacto é realizada a comparação da área de vegetação marginal diretamente afetada (S_i) por empreendimento, com a área total da vegetação deste tipo ocorrente na sub-bacia (S_t). O grau de impacto é calculado pela expressão (4).

$$GIVM = \frac{S_i}{S_t} \quad (4)$$

Qualidade da água dos futuros reservatórios

A avaliação da evolução da qualidade da água em lagos é feita a partir da estimativa do potencial de eutrofização. Para quantificar o potencial de eutrofização na bacia hidrográfica, foram considerados três elementos de análise: o Aporte de Nutrientes (AN), a Relação de Espelho d'Água (REA) e o Tempo de Residência (TR).

O aporte de nutrientes (AN) é obtido pela relação entre a área da bacia de contribuição do aproveitamento (S_n) e a área total da bacia de contribuição da última barragem a jusante (S_{bc}), conforme expressão (5). Admitiu-se que o uso do solo em cada sub-bacia considerada é suficientemente homogêneo e que esta relação é representativa. Considerou-se também que a área do reservatório, caso venha a ser implantado, será previamente desmatada, de modo que não haverá volumes representativos de fitomassa submersa.

$$AN = \frac{S_n}{S_{bc}} \quad (5)$$

A dimensão da área inundada é um indicador importante da potencialidade de eutrofização do sistema. Quanto maior a área do espelho d'água, maior será a absorção de energia solar. Havendo nutrientes, a incidência de luz e o calor desencadeiam transformações eutróficas. Por outro lado, quanto maior a profundidade, maior é a dispersão desta energia. Em outras palavras, quanto maior a profundidade média do lago, menor é o potencial de eutrofização.

O impacto causado é medido pela Relação de Espelho d'Água (REA), um indicador expresso pela relação entre a área inundada pela barragem (SLAGO) e o volume de água armazenado (V), conforme expressão (6). Corresponde ao inverso da profundidade média e é diretamente proporcional à capacidade de eutrofização.

$$REA = \frac{S_{LAGO}}{V} \quad (6)$$

O potencial de eutrofização é diretamente proporcional ao Tempo de Residência (TR) em anos da massa de água no reservatório, calculado através da relação entre o volume da massa de água represada em m^3 (obtida pela curva cota x volume, dos estudos de engenharia) e a vazão média histórica (obtida nos estudos hidrológicos), conforme expressão (7). O tempo de residência, expresso em anos, é um indicador importante neste processo.

$$TR = \frac{V}{v} \quad (7)$$

Considerou-se que os três parâmetros são igualmente importantes para indicar o potencial de eutrofização de um dado aproveitamento. Sendo todos diretamente proporcionais à intensidade do fenômeno, o grau de impacto para a qualidade da água é obtido pela média dos três índices, conforme expressão (8).

$$GIQA = \frac{AN + REA + TR}{3} \quad (8)$$

Ecosistemas Terrestres

Para a avaliação do impacto de cada aproveitamento sobre os ecossistemas terrestres das sub-áreas, foram analisados aspectos relacionados às espécies de fauna terrestre e sua inter-relação com a vegetação a ser atingida foram apreciados no estudo.

Uso do solo na área de influência direta e indireta dos aproveitamentos e perda de cobertura vegetal

Para o cálculo deste índice é feita a classificação de imagens de satélite CBERS/CCD ou LANDSAT disponíveis gratuitamente no site do INPE utilizando como ferramenta as geotecnologias. Na elaboração do índice aplicam-se pesos para cada uso do solo de maneira a ponderar social e ambientalmente o impacto sobre determinado uso como se segue: mata (5), cultura (3), pastagem (2) e solo exposto (0). A estimativa da perda de vegetação é realizada comparando como a GIVM (perda de vegetação marginal).

Biomassa suprimida e Sensibilidade Geológico-geotécnica

A classificação gerada no item anterior subsidia o cálculo de biomassa junto aos valores pesquisados de biomassa (ton./ha) para a região e para cada fisionomia e cultura.

A sensibilidade geológica e geotécnica é avaliada pela composição geológica da região dos reservatórios e a área e volume destes.

Sensibilidade a erosão dos solos

A sensibilidade de erosão do solo é identificada pelo tipo de solo e topografia do entorno de cada microrregião onde se inserem os reservatórios. Sua mensuração é realizada pela equipe responsável baseada nos conhecimentos e faculdade de apreciar e julgar com ponderação e inteligência este indicador de impacto ambiental.

Relevância da Vegetação Atingida

Este grau de impacto é determinado baseado na área de vegetação suprimida nas influências direta do reservatório. Sua mensuração ocorreu de acordo com o julgamento da equipe responsável, levando em conta as espécies que compõem a vegetação local, sua relevância ecológica, ocorrência de espécies ameaçadas de extinção e/ou endêmicas avaliados durante a visita a campo.

Relevância da Fauna Atingida

A fauna terrestre presente nas florestas sofrerão momentaneamente com a supressão de seus habitats e redução espacial, porém estas espécies se deslocarão para outros remanescentes florestais existentes próximos às áreas dos aproveitamentos, sua relevância é avaliada pela biodiversidade e presença de espécies ameaçadas de extinção e/ou endêmicas. O grau de impacto é avaliado pela equipe responsável tomando como referência para sua mensuração o conhecimento, bom senso e o resultado das observações em campo.

Modos de Vida

O impacto sobre os modos de vida decorrente da implantação de aproveitamentos hidrelétricos será determinado pela forma com que esses empreendimentos vierem a afetar a economia agrícola regional, interferindo com as maneiras de reprodução da vida social. A análise centrou-se na avaliação do comprometimento das estratégias de sobrevivência.

Queda no padrão de consumo

Este quesito é analisado em função do comprometimento da ocupação principal das populações diretamente afetadas, o que geraria impacto em suas estratégias de sobrevivência.

Estimou-se o número de pessoas atingidas (P_n), admitindo que para cada estabelecimento haveria 6 (seis) pessoas deslocadas de sua atividade principal. Este número é então relacionado à população rural dos municípios abrangidos pela bacia de contribuição do aproveitamento (P_m). O grau de impacto é calculado pela expressão (9).

$$GIPC = \frac{P_n}{P_m} \quad (9)$$

Modificações nos tradicionais indicadores básicos de qualidade de vida

Avaliou-se neste quesito o impacto causado nos indicadores da qualidade de vida local pelos empreendimentos. De modo geral, não são detectadas alterações significativas, a não ser durante a fase de implantação, quando as obras adicionam um contingente populacional exógeno que tende a pressionar as bases sociais das cidades vizinhas, por um período geralmente variável entre 18 e 36 meses. Considera-se o seguinte contingente para os canteiros de obras:

- | | |
|-----------------------------------|----------------------|
| • Aproveitamentos até 10 MW | 150 empregos diretos |
| • Aproveitamentos de 10,1 a 20 MW | 225 empregos diretos |
| • Aproveitamentos de 20,1 a 50 MW | 300 empregos diretos |
| • Aproveitamentos acima de 50 MW | 500 empregos diretos |

O grau de impacto é determinado pela relação entre o *incremento populacional* (IP) causado pela obra e a *população urbana* (PU) do município de apoio calculado pela expressão (10).

$$GIQV = \frac{IP}{PU} \quad (10)$$

Realocação da População Diretamente Afetada

Para determinação deste impacto analisou-se a quantidade de casas inundadas e por meio de um julgamento da equipe responsável, atribui-se um valor adequado levando em conta as questões materiais e imateriais dentro do contexto.

Alteração no sistema de Produção

As Alterações no Sistema de Produção são avaliadas conforme a organização da produção rural e urbana, os recursos naturais disponíveis e as condicionantes ambientais de cada região.

Organização Territorial

Neste item são analisados os impactos dos aproveitamentos sobre o uso e ocupação do território, especialmente quanto à circulação de mercadorias e de pessoas. De modo geral os impactos não são muito relevantes, tendo em vista que a maior parte dos aproveitamentos possui áreas de inundação relativamente pequenas.

Recursos Minerários

O grau de impacto (GRM) é definido como sendo a razão entre o número de direitos minerários na influência direta dos reservatórios (RM_{aprov}) e o somatório de direitos minerários no trecho em que se encontram (RM_{total}), conforme expressão (11).

$$GRM = \frac{RM_{APROV.}}{RM_{TOTAL}} \quad (11)$$

Ocupação de áreas de preservação (unidades de conservação)

As Unidades de Conservação tem suas áreas traçadas e sobrepostas às áreas de influência diretas dos diferentes aproveitamentos considerando a zona de amortecimento de 10 km. Para a estimativa do grau de impacto deste elemento utiliza-se a área do reservatório localizada em unidade de conservação (S_i) e a área total do reservatório (S_t). Atribuiu-se um fator cuja finalidade é diferenciar o tipo de área de preservação onde o reservatório se localizava, onde o grau de impacto é calculado pela expressão (12).

Área de uso sustentável: 0.5 e Área proteção integral: 1.0

$$OAP = \frac{S_i}{S_t} \quad (12)$$

Padrões de assentamento e mobilidade

Neste elemento de avaliação de impacto ambiental avalia-se a necessidade ou não de remanejamento de comunidades urbanas, podendo existir então problemas com reassentamentos ou apenas uma acomodação natural (aquisições e permuta de terras) na maioria dos empreendimentos. A população flutuante associada às obras é estimada em função da potência instalada e comparada com a população municipal.

População remanejada

Adota-se como indicador da população a ser remanejada o número de pessoas diretamente afetadas pelo barramento. O grau de impacto é dado pela relação entre o número de pessoas afetadas (P_n) e a população ribeirinha do rio em estudo, na subárea (NPT), conforme expressão (13). Por comodidade do cálculo, considerou-se para este indicador $NPT \equiv \sum P_n$.

$$GIPR = \frac{P_n}{\sum P_n} \quad (13)$$

Vila residencial

No componente-síntese “modos de vida” é estimado o impacto causado pelo incremento populacional representado pelo número de operários envolvidos na construção das barragens. Este mesmo quantificador de impacto é utilizado neste indicador, mostrando a inter-relação existente entre ambos, conforme expressão (14).

$$GIVR = \frac{IP}{PU} \quad (14)$$

O grau de impacto para o elemento de avaliação padrões de assentamento e mobilidade (GIPA) é dado pela média entre os graus de impacto obtidos para cada quesito avaliado, expresso pela equação (15).

$$GIPA = \frac{(GIPR + GIVR)}{2} \quad (15)$$

Fluxo de circulação e comunicação

Neste elemento de avaliação é analisada a possível interferência dos aproveitamentos propostos sobre a infra-estrutura viária, avaliando-se o comprometimento de unidades de produção existentes. A análise centra-se nos seguintes aspectos sintetizadores das interferências esperadas: *equipamentos de produção, consumo e serviços; infra-estrutura viária e população atingida*. No cálculo dos graus de impacto, leva-se em consideração a *reversibilidade* do impacto, adotando-se um fator de 0,25 a 1,00. Este fator procura valorizar aqueles impactos cuja alternativa de reversão é mais difícil ou, em certos casos, impossível.

Equipamentos de produção, consumo e serviços atingidos

Foram contadas as fazendas atingidas pelas alagações, verificando se haveria propriedades passíveis de isolamento por falta de acesso. Para o cálculo do grau de impacto, é determinado o número de equipamentos de produção afetados (EP) e relacionando com o somatório dos equipamentos de produção afetados na sub-bacia, obtendo-se o grau de impacto pela expressão (16).

$$GIEP = \frac{EP}{EP_{total}} \quad (16)$$

Infra-estrutura viária atingida

Os trechos de estrada potencialmente atingidos pelos aproveitamentos são diligentemente medidos nos mapas oficiais, para determinar o grau de impacto sobre a infra-estrutura viária. São considerados não apenas os trechos alagados, mas o comprimento total da parte interrompida da estrada, isto é, a parte que efetivamente deixaria de servir à população.

Para a medição é construída uma planilha que considerou os seguintes aspectos: Tipificação da estrada afetada (de fazenda, intermunicipal, asfaltada), descrição do trecho afetado (estradas ligando fazendas; estradas interligadas a outras estradas federais, estaduais ou municipais; estrada conduzindo a municípios próximos); medição dos trechos afetados; análise da reversibilidade do impacto (atribuição dos *fatores de reversibilidade* de 1 a 4, conforme mencionado anteriormente).

Para o cálculo do grau de impacto, a *extensão impactada* (LN) é determinada e tipificada, atribuindo-se para cada tipo o *fator de reversibilidade* (FR_n) correspondente. O somatório $LN_1.FR_1 + LN_2.FR_2 + (...)+ LN_n.FR_n$ é então relacionado ao somatório dos trechos afetados na sub-bacia, para obtenção do grau de impacto conforme expressão (17).

$$GIIV = \frac{LN_1.FR_1 + LN_2.FR_2 + (...)+ LN_n.FR_n}{\sum_{i=1}^n LN_i} \quad (17)$$

População atingida

Os indicadores para este parâmetro foram anteriormente calculados no item padrões de assentamento e mobilidade, quando se tratou do quesito *população remanejada* (GIPR). O grau de

impacto para o elemento *fluxo de circulação e comunicação* (GIFC) é dado pela média entre os graus de impacto obtidos para cada quesito avaliado, conforme expressão (18).

$$GIFC = \frac{(GIEP + GIIV + GIPR)}{3} \quad (18)$$

Base Econômica

Analisa-se, neste componente-síntese, o comprometimento potencial das atividades econômicas presumivelmente causadas pela implantação dos empreendimentos considerados na partição de queda proposta.

Os indicadores de impacto selecionados avaliam os estabelecimentos produtivos atingidos, a interferência sobre os meios de produção, a supressão de potencialidades, emprego e renda das comunidades afetadas e o impacto sobre as finanças municipais.

De modo geral, objetivou-se quantificar os danos buscando formar um juízo seguro acerca da interferência dos aproveitamentos na base econômica local e regional, seguindo os critérios de avaliação sugeridos no *Manual*.

Interferência sobre as atividades econômicas

A interferência sobre as atividades econômicas é analisada com base nos seguintes aspectos:

Estabelecimentos atingidos

Para determinação do grau de impacto, usa-se a quantificação dos estabelecimentos atingidos por aproveitamento (EP), antes obtida no item Fluxos de circulação e comunicação (equipamentos de produção atingidos), relacionando-se este número com o total dos estabelecimentos impactados na subárea, conforme expressão (19).

$$GIEP = \frac{EP_n}{\sum EP_n} \quad (19)$$

Produção afetada

Considera-se, para simplificação, que toda a superfície que seria inundada (*S*, expressa em hectares) e que não está coberta com vegetação natural, corresponderia à área produtiva ou

potencialmente produtiva. Desta forma, admitiu-se um impacto máximo. Os impactos são determinados através do valor da produtividade média por hectare (P , expressa em R\$/ano), nos municípios dos quais as terras serão suprimidas. O valor da produção suprimida (P vezes S) é relacionado ao valor anual (VP), obtido conforme a equação (20).

$$GIP = \frac{P.S}{VP} \quad (20)$$

Renda suprimida

Utiliza-se, neste elemento de avaliação, o valor da renda suprimida obtido acima relacionado ao total da renda suprimida na sub-área pelo conjunto dos aproveitamentos, segundo a equação (21).

$$GIR = \frac{(P.S)}{\sum P.S} \quad (21)$$

Empregos suprimidos

Para a estimativa deste indicador, considera-se o número de empregos suprimidos proporcional à população diretamente afetada (P_n). A significância do impacto é avaliada pela relação com a população rural do município (PRM), conforme a expressão (22).

$$GIES = \frac{P_n}{PRM} \quad (22)$$

O grau de impacto para o elemento interferência sobre as atividades econômicas é dada pela equação (23).

$$GIAE = \frac{(GIEP + GÍP + GIR + GIES)}{4} \quad (23)$$

Interferência sobre os recursos e potencialidades

Potencial turístico

O grau de impacto é avaliado através da identificação e contagem dos sítios portadores de algum potencial turístico (ST), relacionando-se o número deles por aproveitamento, com o número total de sítios na sub-área considerada, conforme equação (24).

$$GIT = \frac{ST}{\sum ST} \quad (24)$$

O grau de impacto para o elemento *Potencialidades suprimidas* (GIPS) é dado pela média entre os graus de impacto obtidos para cada quesito avaliado e expresso pela equação (25).

$$GIPS = \frac{(GIM + GIT)}{2} \quad (25)$$

Interferência nas finanças municipais

É estimada, no item Interferência sobre as atividades econômicas, a perda máxima de produção decorrente dos aproveitamentos, pela supressão de terras em uso ou potencialmente produtivas. Considerando que não estão previstas reduções significativas do contingente populacional (mais comuns em grandes barragens onde núcleos urbanos são relocados em outros municípios, por exemplo), o eventual comprometimento da arrecadação municipal seria neste caso proporcional à perda da produção. O grau de impacto na arrecadação é então igual ao grau de impacto determinado para a perda da produção e expresso pela equação (26).

$$GIFM = \frac{P.S}{VP} \quad (26)$$

Geração de empregos e renda da população com a desmobilização

São avaliadas também as características da capacidade de geração de emprego e renda, e localização dos principais ramos produtivos.

Populações Indígenas / Populações Tradicionais

Sobre este indicador de impacto ambiental é realizado uma avaliação baseada na possível influência dos reservatórios dos aproveitamentos hidroelétricos em populações tradicionais nos locais dos aproveitamentos. O grau de impacto é determinado como sendo a razão da área afeta de populações tradicionais afetadas pelo reservatório do aproveitamento hidrelétrico e a área total das populações tradicionais localizadas na subárea de estudo, expresso pela equação (27).

$$GPT = \frac{S_{AFETADO}}{S_{TOTAL}} \quad (27)$$

2.3 - Indicador final de impacto do aproveitamento

Para a determinação dos índices de impacto ambiental dos aproveitamentos relacionam-se os índices de impacto ambiental de cada elemento e o respectivo peso. A determinação dos pesos para cada elemento de avaliação obtém com base no diagnóstico ambiental, estudos de engenharia e bom senso da equipe executora, permitindo a qualificação e quantificação dos efeitos de pressões sobre os ecossistemas e sobre as interações socioeconômicas.

Para subsidiar o processo de avaliação, aplicam-se tipologias que classificam os impactos segundo diversos atributos: Ocorrência; Natureza; Duração; Magnitude; Abrangência; Reversibilidade; Relevância. E, com base nessa classificação de cada elemento de avaliação, atribuíram-se valores que combinados através da soma dos mesmos resultam no peso correspondente.

Para cada componente-síntese, como recursos hídricos e ecossistemas aquáticos, meio físico e ecossistemas terrestres, modos de vida, organização territorial, base econômica e populações indígenas / tradicionais por aproveitamento é relacionado cada elemento de avaliação com seus respectivos pesos determinados e divididos pelo somatório dos pesos em cada componente-síntese.

Para a confecção do indicador final de cada aproveitamento busca-se hierarquizar a importância dos componentes-síntese entre si atribuindo aos mesmos um fator de ponderação.

Obtem-se o indicador final de cada aproveitamento relacionando o fator de ponderação com o indicador de impacto de cada componente-síntese, permitindo uma avaliação individual dos mesmos, bem como a seleção das alternativas de menor impacto ambiental.

Para exemplificar este método apresenta-se uma alternativa já selecionada (utilizando este mesmo método) com seus índices finais para análise de um empreendimento hidrelétrico em fase de inventário hidrelétrico (Tabela 1) com nomes adaptados de um estudo executado pela iX Consultoria e Representações.

Tabela 1. Alternativa (selecionada) e índices ambientais apresentados por aproveitamentos.

Aproveitamento	Índice ambiental
Lajeado	0,309
Sol	0,363
Fazenda	0,545
Nascente	0,240
Jataí	0,264
Lagoas	0,428
Olho d'água	0,332
Araguari	0,280
Veríssimo	0,318
Capão	0,492
Pedras	0,298
São Félix	0,276
São Judas	0,270

Para facilitar a seleção dos aproveitamentos com menor impacto ambiental foram criadas 05 faixas apresentadas na Tabela 2. Estas faixas são construídas a partir dos valores mínimos, máximos e seus intervalos.

Tabela 2. Faixas construídas para os aproveitamentos.

Classes	Valores		Faixas
	Mínimo	Máximo	
Muito baixa	0,240	0,301	1
Baixa	0,301	0,362	2
Regular	0,362	0,423	3
Alta	0,423	0,484	4
Muito alta	0,484	0,545	5

A partir dos índices de cada aproveitamento e da faixa em que se enquadram estes são classificados e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Aproveitamentos classificados de acordo com as 5 faixas construídas.

Aproveitamento	Faixas/ Classes
Lajeado	Baixa
Sol	Regular
Fazenda	Muito alta
Nascente	Muito baixa
Jataí	Muito baixa
Lagoas	Alta
Olho d'água	Baixa
Araguari	Muito baixa

Aproveitamento	Faixas/ Classes
Veríssimo	Baixa
Capão	Muito alta
Pedras	Muito baixa
São Félix	Muito baixa
São Judas	Muito baixa

A partir desta classificação verificam-se quais são os aproveitamentos de maior impacto ambiental (Fazenda e Capão) e os de menor impacto ambiental (Nascente, Jataí, Araguari, Pedras, São Félix e São Judas). Para a seleção final dos aproveitamentos e/ou alternativas, associam-se estes índices de impacto ambiental com os respectivos índices custo-benefício em um gráfico de resíduos proporcionando a identificação de quais aproveitamentos são mais viáveis ambientalmente e economicamente (Figura 1).

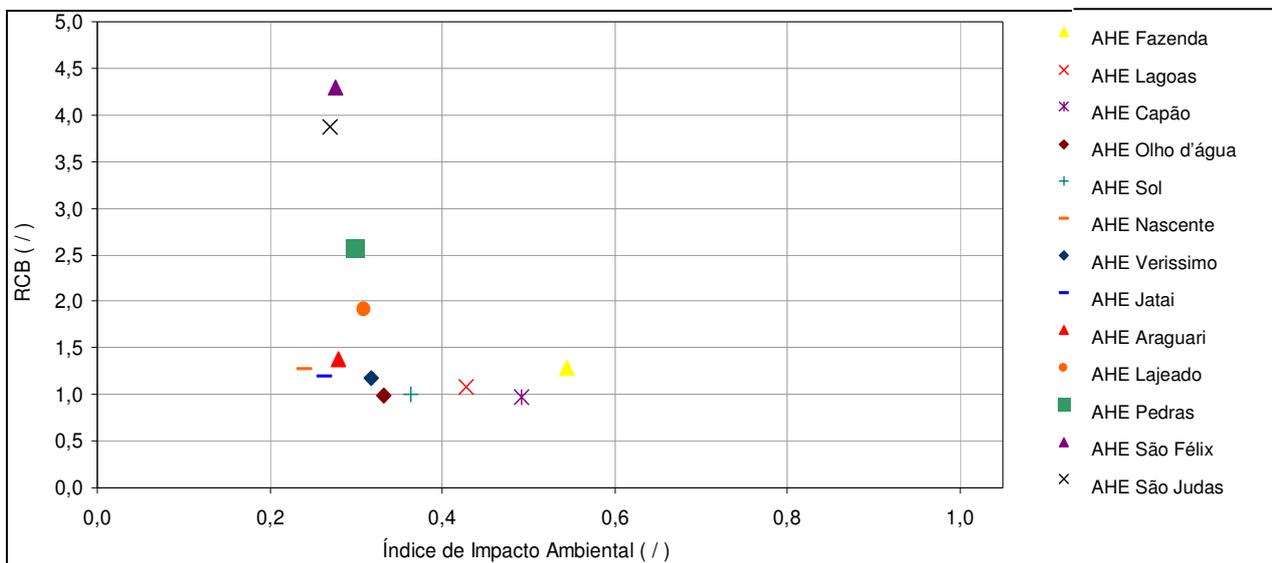


Figura 1. Relação custo-benefício e índice de impacto ambiental.

Após esta análise verifica-se que mesmo apresentando bons índices ambientais três aproveitamentos deixam de ser viáveis por questões econômicas que são São Félix, São Judas e Pedras.

5. CONCLUSÕES

A análise socioambiental integrada deve ser aplicada nos diferentes âmbitos de empreendimentos hidrelétricos desde a análise, avaliação até a seleção de empreendimentos. A

mesma pode ser útil ao empreendedor e ao órgão ambiental fiscalizador e/ou regulamentador como medida de Análise de Gestão Ambiental.

Os índices ambientais gerados são excelente indicador para a seleção de partição ou dos aproveitamentos hidrelétricos objeto dos estudos de inventário, e devem ser considerados junto aos índices econômicos.

Sugere-se que a metodologia apresentada no Manual de Inventários Hidrelétricos seja complementada à medida que for necessário atendendo as particularidades da bacia e a análise da equipe multidisciplinar envolvida.

BIBLIOGRAFIA

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (2007) *Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas*. Rio de Janeiro, Brasil.

ELETROBRÁS (2003) “Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, Rio de Janeiro, ELETROBRÁS. Disponível em www.eletronbras.gov.br visitado em 01/06/2008.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – Avaliação Ambiental Integrada (AAI) de aproveitamentos hidrelétricos – 2006.

Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>. Acessado em 10 de dezembro de 2008.

Pesq Agropec Trop 37(2):71-76,jun.2007-www.agro.UFG.br/Pat

LARROSA&SANTOS (2002). Estudos de Inventário Hidrelétrico: Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois / GO. Brasília, DF, s.p.

SOUZA, Z.; SANTOS, A.H.M.; BORTONI, E.C. (1999) *Centrais Hidrelétricas: Estudos para Implantação*. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. – ELETROBRÁS. 250p.