

## **OS ESTUDOS DE INVENTÁRIO DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO, OS LEILÕES DE ENERGIA E A FALTA DE USINAS COM RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO – INCOERÊNCIAS NO PLANEJAMENTO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

*Angela Livino<sup>1\*</sup>*

**Resumo** – A importância da hidroeletricidade para o Planejamento da Expansão da Geração tem base no elevado potencial de energia hidráulica de que o Brasil dispõe e resultou de uma opção estratégica feita no século passado, apesar da maior competitividade que os derivados de petróleo então apresentavam como fonte primária de energia. Porém, apenas cerca de 30% do potencial hidrelétrico nacional já foi explorado, proporção bem menor do que a observada nos países industrializados. Recentemente, vem sendo discutido a redução na oferta de usinas hidrelétricas com capacidade de regularização. Este artigo discute possíveis melhorias que deveriam ser feitas no processo de inventário de usinas hidrelétricas, nas licitações dos potenciais e no cálculo da garantia física das usinas hidrelétricas de regularização.

**Palavras-Chave** – inventário potencial hidrelétrico, reservatórios de regularização

### **INVENTORY OF POTENTIAL HYDROELECTRIC, THE AUCTIONS AND DECREASE OF NUMBER OF HYDROPOWER PLANTS WITH STORAGE CAPACITY – INCONSISTENCIES ON IN BRAZILIAN POWER SECTOR PLANNING**

**Abstract** – The importance of hydropower for Generation Expansion Planning is based on hydropower potential that Brazil and has resulted in a strategic choice made in the past century, despite the increased competitiveness that petroleum then presented as a primary source of energy. However, only around 30% of domestic hydropower has been explored much lesser extent than observed in the industrialized countries. Has been recently discussed the reduction in the supply of hydroelectric power plants with a capacity of regularization. This article discusses possible improvements that should be made in the process of inventory of hydroelectric power plants in the bidding and the calculation of the assured energy of the storage capacity hydroelectric plant.

**Keywords** – Hydropower potential inventory, storage capacity hydropower.

---

<sup>1</sup>Kennedy School of Government, Harvard University e Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro Email: [angela\\_livino@hks.harvard.edu](mailto:angela_livino@hks.harvard.edu)

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da hidroeletricidade para o Planejamento da Expansão da Geração tem base no elevado potencial de energia hidráulica de que o Brasil dispõe e resultou de uma opção estratégica feita no século passado, apesar da maior competitividade que os derivados de petróleo então apresentavam como fonte primária de energia.

Porém, apenas cerca de 30% do potencial hidrelétrico nacional já foi explorado, proporção bem menor do que a observada nos países industrializados. Nesse contexto, muitos defendem que a base da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil seja, mesmo em uma perspectiva de longo prazo, a hidroeletricidade.

Muito se discute atualmente quanto à participação da hidroeletricidade nos leilões para atendimento ao mercado de energia. Especialmente, observa-se uma redução significativa da participação de usinas com capacidade de armazenamento nos seus reservatórios, ou seja, as usinas que vêm sendo licitadas e construídas não contam com capacidade de regularização das vazões o que traz um prejuízo tanto ao setor elétrico (que passa a ter uma fonte de energia muito mais incerta e conseqüentemente tem que recorrer às usinas termelétricas como forma de compensação à incerteza), mas também aos demais usuários do recurso hídrico, visto que sem reservatórios de regularização não é possível controlar os níveis para evitar cheias, há um prejuízo na cooperação para a operação de uma hidrovia e há a redução da possibilidade de utilização do reservatório para abastecimento de núcleos urbanos.

Este trabalho apresenta uma reflexão quanto à possíveis aprimoramentos que se fazem necessários dentro dos estudos de planejamento, inventário, viabilidade e licitação das usinas hidrelétricas no setor elétrico brasileiro de forma a possibilitar a maior participação de usinas com capacidade de regularização na matriz energética brasileira.

## 2 MELHORIAS PROPOSTAS

O ciclo de desenvolvimento de uma UHE no Brasil prevê os Estudos de Inventário do Potencial da Bacia Hidrográfica, os Estudos de Viabilidade de cada Usina selecionada no Inventário, o Projeto Básico da usina, já desenvolvido pelo empreendedor que tenha obtido a concessão do aproveitamento no Leilão de Energia Nova. O Projeto Executivo é consecutivo ao Projeto Básico e geralmente é feito pelo mesmo grupo que fez o Projeto Básico (projetistas contratados pelo Consórcio Vencedor do Leilão). A operação da usina é feita geralmente pela empresa integrante do consórcio que possui a expertise na operação (usualmente empresas geradoras de energia), porém há sempre a possibilidade de diversos empreendedores serem responsáveis pela usina ao longo de seu “ciclo de vida”. Esta realidade prejudica o melhor desenvolvimento do projeto, visto que diversos empreendedores podem ter distintos interesses, moldando o dimensionamento ou a construção de acordo com os seus ideais.

Uma das alternativas para solucionar esta questão de distintos interesses ao longo do ciclo de vida de uma usina hidrelétrica, seria estabelecer que a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) ou outra empresa que representasse os interesses do Estado passasse a ser responsável pela UHE até a fase da licitação, que deveria ser após o Projeto Básico ou então a partir de um novo estudo de viabilidade, mais detalhado. A partir deste momento o empreendedor que obtivesse o direito à concessão passaria a ser o responsável pela construção e entrega para operação, sob a fiscalização da ANEEL e saberia de antemão que estaria sujeito a um rigoroso processo de aferição quando a usina entrasse em operação de forma a garantir que a usina que está sendo

entregue obedece a todos os requisitos que deram origem à garantia física que foi calculada por ocasião do leilão.

Finalmente, uma forte recomendação para a melhoria do processo de planejamento e na coerência entre as etapas de criação de uma UHE, é a revisão das Instruções para Viabilidade de Usinas Hidrelétricas, desenvolvido pela Eletrobras em 1997. Este documento vem sendo utilizado na execução dos estudos de viabilidade, visto que não há nenhuma referência mais atualizada. Porém, na época em que este Manual foi elaborado, a realidade do setor elétrico era muito diferente. Especialmente, com relação à forma de licitação das usinas, naquela época as concessões ainda eram regionais e, todos os estudos (inventário, viabilidade e projeto básico) eram feitos pela mesma empresa desde que a bacia hidrográfica em questão estivesse inserida na sua região de concessão. Naquela época também não havia previsão de licitação para obtenção da concessão. O conceito de leilão de concessão do potencial hidráulico surgiu na primeira reforma do setor no final dos anos 90, e considerando a importância do conhecimento prévio das características da obra construída, haveria a necessidade de detalhar mais as informações. Porém, este maior detalhamento não existiu, posto que a referência para a execução dos estudos de viabilidade permanece sendo o documento de 1997.

Um exemplo da importância do maior detalhamento do Projeto para a realização do leilão é a própria previsão legal na Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993 que define o projeto básico aprovado pela autoridade competente e disponível para exame dos interessados em participar do processo licitatório, como condição necessária para a realização das licitações. A Lei 8.666/2003 ainda define projeto básico como o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, ou complexo de obras ou serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução.

Com o novo Modelo Institucional do Setor Elétrico (de 2004) no qual os potenciais hidráulicos são concedidos em etapa inicial do leilão e a comercialização da energia proveniente do aproveitamento é feita no mesmo leilão a partir da tarifa ofertada para obtenção da concessão, torna-se mais importante o real conhecimento dos custos associados ao projeto, visto que esta tarifa uma vez fixada será válida durante toda a vigência do contrato (30 anos). Atualmente, a EPE tem exercido o papel de “otimizar” os custos e os arranjos propostos nos estudos de viabilidade visando ofertar um preço mais justo para o preço teto do leilão (valor máximo a partir do qual partem as propostas no momento da decisão de qual o concessionário ganhará o direito de explorar o potencial hidráulico de uma determinada usina).

Um estudo de inventário, uma vez aprovado pela ANEEL, tem as suas usinas selecionadas colocadas à disposição dos interessados no desenvolvimento dos estudos de viabilidade técnico e econômica.

E a ótica dos desenvolvedores dos estudos de viabilidade (melhor aproveitamento do potencial localizado na usina selecionada) pode ser bem distinta da diretriz utilizada nos estudos de inventário (melhor aproveitamento do potencial da bacia).

Sob a ótica do aproveitamento energético, a lógica de seleção de uma alternativa nos estudos de inventários segue o princípio básico do ganho de energia firme<sup>2</sup> que o conjunto de

---

<sup>2</sup> A energia firme de um sistema corresponde à maior carga que este sistema pode atender sem ocorrência de déficits nas piores condições hidrológicas registradas no histórico de aflúncias naturais.

usinas pode propiciar ao sistema de referência, considerando que já foram realizados todos os outros aproveitamentos da alternativa, denominado ganho em última adição.

O conceito de energia firme surgiu no final do século XIX, quando se estudava o dimensionamento de reservatórios para o abastecimento de água a cidades. O objetivo era determinar a capacidade de armazenamento que asseguraria uma determinada vazão “firme” mesmo na ocorrência da sequência mais seca registrada no histórico. A capacidade mínima de um reservatório para atender a uma determinada vazão “firme” é dada pela diferença entre o volume acumulado que seria necessário para atender àquela vazão no período mais crítico de estiagem e o volume acumulado que afluí ao reservatório no mesmo período. Rippl (1883) propôs um diagrama de massas para calcular a mínima capacidade que deveria ter um reservatório para garantir o atendimento de uma demanda volumétrica constante. Este diagrama é definido como a integral da hidrógrafa, é um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório. Este mesmo diagrama permitia responder à pergunta inversa: qual a vazão firme associada a uma determinada capacidade de armazenamento?

Neste ponto, merece destaque uma recomendação de aprimoramento que será discutida neste artigo, qual seja, a seleção de usinas em uma alternativa dos estudos de inventário e o desenvolvimento dos estudos de viabilidade por empreendedores com lógicas competitivas distintas. Ou seja, nos estudos de inventário o dimensionamento das usinas é sempre feito visando o melhor aproveitamento hidrelétrico de toda a bacia, uma vez que considera o ganho de energia firme em última adição, já na viabilidade, visto que o empreendedor busca o maximizar o seu benefício local, há uma tendência a não manter os reservatórios de regularização, visto que, quanto maior e mais constante a operação de um reservatório, maior a perda de queda e, conseqüentemente menor a energia local.

Voltando à seleção de alternativas no inventário, a mesma é feita tendo como critério básico a maximização da eficiência econômico-energética em conjunto com a minimização dos impactos socioambientais negativos. Como, em geral, a maximização da eficiência econômico-energética conflita com a minimização dos impactos socioambientais, no processo de comparação e seleção de alternativas, estes aspectos deverão ser considerados dentro de uma abordagem multiobjetivo.

Desta forma, é prevista uma comparação e seleção de alternativas tendo por objetivo a eliminação daquelas que não são competitivas, tanto sob o ponto de vista da eficiência econômico-energética, como sob o ponto de vista dos impactos socioambientais negativos. Para esta comparação, deve-se tomar como base o índice de custo/benefício energético e o índice de impacto socioambiental negativo calculado para cada alternativa.

As análises e comparações econômico-energéticas realizadas em Estudos de Inventário Hidroelétrico têm como base índices custo-benefício energético, expressos em R\$/MWh e calculados sempre como a razão entre o custo de obtenção de um acréscimo na energia firme do sistema de referência e o valor desse acréscimo. Este índice pode ser calculado isoladamente para cada aproveitamento ou para um conjunto de aproveitamentos de uma alternativa, assim como para a alternativa como um todo.

O benefício energético de cada aproveitamento de uma alternativa é medido pelo acréscimo na energia firme do sistema de referência proporcionada pela adição do aproveitamento, supondo já construídos todos os outros aproveitamentos da alternativa.

O índice custo-benefício energético de cada aproveitamento é definido como a razão entre o seu custo total anual e o seu benefício energético. É calculado pela seguinte expressão:

$$ICB_i = \frac{CT_i}{(8760 * \Delta EF_i)} \quad (1)$$

ICB<sub>i</sub>: Índice custo-benefício energético da usina i, em R\$/MWh

CT<sub>i</sub>: Custo total anual da usina i, em R\$

Δ EF<sub>i</sub>: Acréscimo de energia firme propiciado pela adição da usina i em MW médios, considerando todos os aproveitamentos da alternativa como já construídos.

Uma vez que cada alternativa de divisão de queda fornece um ganho diferente de energia firme ao sistema de referência, a comparação das alternativas entre si requer uma homogeneização desses valores.

Isto é feito complementando a produção associada às alternativas com menor ganho de energia firme, até o maior valor dentre todos, ao custo unitário de referência.

O índice custo-benefício energético de cada alternativa, que será o parâmetro com o qual ela será avaliada, é dado por:

$$ICB_a = \frac{(CT_a + 8760 * CUR * (\Delta EF' - \Delta EF_a))}{(8760 * \Delta EF')} \quad (2)$$

ICB<sub>a</sub>: Índice custo-benefício energético da alternativa a, em R\$/MWh

CUR<sup>3</sup>: Custo unitário de referência, em R\$/MWh

Δ EF': Ganho de energia firme fornecido pela alternativa com maior produção no conjunto das analisadas, em MW médios

Δ EF<sub>a</sub>: Ganho de energia firme fornecido pela alternativa a, em MW médios

CT<sub>a</sub>: Custo total anual da alternativa a, depois que todos os aproveitamentos não econômicos forem eliminados, em R\$.

A cada decisão de construir ou não uma usina hidrelétrica, ou de um conjunto de usinas de uma alternativa, devem ser avaliados os impactos da não construção daquela usina, ou conjunto de usinas. Usualmente, são facilmente quantificados os prejuízos econômicos, visto que a alternativa ao não atendimento da parcela da carga correspondente ao total de energia firme agregado pelo total de usinas será o atendimento a partir de alguma outra fonte que agregue a mesma quantidade de energia, porém com um custo mais elevado (e, eventualmente um impacto mais elevado).

A metodologia vigente no Manual de Inventário (Cepel, 2007), descrita acima, procura representar esta opção de não atendimento à carga e compensação pelo atendimento com outra fonte, através da homogeneização dos custos entre as alternativas. Porém, não há a previsão da homogeneização dos impactos ambientais dentre as distintas alternativas conforme poderá ser visto a seguir.

<sup>3</sup> É o custo de geração, em R\$/MWh, acima do qual a contribuição energética das usinas, ou das configurações de usinas, deixa de ser economicamente competitiva. Corresponde ao custo de longo prazo no sistema de referência considerado para a produção de energia a um fator de capacidade F<sub>k</sub>, resultante da combinação da fonte de energia e da fonte de ponta do sistema de referência.

O índice socioambiental negativo de uma alternativa de divisão de queda deve expressar a intensidade do impacto negativo sobre a área de estudo do conjunto dos aproveitamentos que a compõem, buscando a hierarquização das alternativas em função do atendimento ao objetivo de minimização dos impactos socioambientais negativos.

O cálculo do índice socioambiental negativo de uma alternativa se desenvolve em duas etapas:

Composição do índice de impacto negativo da alternativa sobre cada componente-síntese (relativo à agregação dos índices de aproveitamentos em índice de alternativa de divisão de queda).

Composição do índice de impacto negativo da alternativa sobre o sistema socioambiental (correspondente à agregação dos seus índices de impacto negativos relativos a todos os componentes-síntese<sup>4</sup>).

O índice de impacto socioambiental negativo da alternativa de divisão de queda sobre cada componente-síntese deve representar o impacto do conjunto de aproveitamentos sobre o componente-síntese na área de estudo, considerando-se todos os aproveitamentos da alternativa implantada. Para tanto, seria necessário considerar, além dos processos impactantes de cada aproveitamento analisado isoladamente, os efeitos cumulativos e sinérgicos<sup>5</sup> entre os aproveitamentos que afetam uma mesma subárea<sup>6</sup>, bem como os aqueles entre os processos impactantes das diferentes subáreas.

Este índice é obtido pela soma ponderada dos índices de impacto negativo da alternativa sobre componente-síntese (IAC), calculados anteriormente.

$$IA = \sum IAC_i * P_{ci}, \text{ onde}$$

P<sub>ci</sub>: Fator de ponderação relativo a cada componente-síntese.

Visando manter os valores de IA entre zero e um, os pesos P<sub>ci</sub> devem ser atribuídos também em uma escala contínua de zero a um, devendo a soma dos pesos de todos os componentes ser igual à unidade.

Os fatores de ponderação são utilizados para possibilitar a relativização dos índices de impacto da alternativa sobre componente-síntese no quadro socioambiental da área de estudo. Estes pesos devem representar a importância relativa entre os processos impactantes de cada componente-síntese sobre o sistema socioambiental, que pode ser medida pela repercussão de tais processos sobre os demais componentes.

<sup>4</sup> Para representação do sistema ambiental adota-se uma estrutura analítica composta por seis componentes-síntese: Ecossistemas Aquáticos (e recursos hídricos), Ecossistemas Terrestres, Modos de Vida, Organização Territorial, Base Econômica e Povos Indígenas/Populações Tradicionais.

<sup>5</sup> Cumulatividade e sinergia são causadas pela combinação de uma ou mais ações antrópicas com outra(s) passada(s), presente(s) ou futura(s) potencializando alterações ao meio ambiente. Os impactos cumulativos resultam da interação aditiva dessas alterações em um dado espaço ao longo do tempo. Os impactos são considerados sinérgicos quando os resultados destas interações acarretam uma alteração em um dado espaço diferente da simples soma das alterações.

<sup>6</sup> Recortes territoriais contínuos que apresentam relações e processos particulares que as distinguem das demais e que determinam sua relação com a dinâmica do componente-síntese na área de estudo como um todo.

Para avaliar esta repercussão, devem ser consideradas as análises das interações entre os componentes-síntese relativas à composição do quadro socioambiental da área de estudo realizadas no diagnóstico.

Devido ao caráter interdisciplinar desta atividade e à grande margem de subjetividade envolvida, torna-se necessário sistematizar os procedimentos para a atribuição dos pesos entre os componentes, utilizando métodos e técnicas adequados. Estes métodos devem possibilitar a representação de avaliações subjetivas em um sistema de pesos, bem como permitir a realização da síntese da opinião de diversos avaliadores.

Como pode ser visto, apesar da metodologia de avaliação dos impactos ambientais negativos apresentar um alto grau de complexidade e considerar diversas dimensões ao avaliar distintos componentes-síntese, ainda há uma lacuna neste índice por não ser considerada a homogeneização das alternativas com relação a não implantação de cada alternativa e os impactos associados à alternativa adotada em substituição à descartada.

Considerando a metodologia utilizada na dimensão energética, que considera a opção de não implantação das usinas excluídas em cada uma das alternativas comparativamente à alternativa de maior potencial energético através da compra de energia, seria razoável utilizar o mesmo critério na dimensão ambiental, qual seja considerar o impacto de utilizar outras fontes de energia (com maiores impactos negativos) para equalizar as alternativas.

Uma proposta para equalização conjunta das dimensões energética e ambiental seria considerar a mesma composição que deu origem ao CUR (50% carvão mineral importado e 50% de energia nuclear) para avaliação do impacto proveniente da adoção de energia complementar proveniente destas fontes. O exemplo a seguir ilustra esta proposta:

Índice Custo-Benefício Energético das Alternativas				
Alternativa	Energia		Custo com Complementação	
	Ganho de Firme (MW)	Complementação (MW)	Anual (R\$ x 10 <sup>6</sup> )	ICB (R\$/MWh)
A	3826	834	4.728	115.81
B	4614	47	3.839	94.02
C	4661	0	3.771	92.38

  

Índice Socioambiental Negativo das Alternativas				
Componente-síntese	Peso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Base Econômica	0.1	0.053	0.053	0.053
Ecossistema Aquático	0.3	0.83	0.709	0.803
Ecossistema Terrestre	0.2	0.659	0.744	0.751
Modos de Vida	0.1	0.308	0.314	0.313
Organização Territorial	0.1	0.542	0.535	0.537
Populações Indígenas	0.2	1	1	1
<b>IA</b>		<b>0.671</b>	<b>0.652</b>	<b>0.681</b>

  

Índice Socioambiental Negativo das Alternativas CONSIDERANDO A COMPLEMENTAÇÃO				
Componente-síntese	Peso	Alternativa A'	Alternativa B'	Alternativa C'
Base Econômica	0.25	0.5	0.2	-
Mudança Climática	0.25	1.0	0.2	-
Conforto da População	0.25	0.8	0.1	-
Pressão de Infra-Estrutura	0.25	0.8	0.2	-
<b>IA</b>		<b>0.775</b>	<b>0.175</b>	<b>0</b>

  

Índice Socioambiental Negativo FINAL das Alternativas		
Alternativa (A + A')/2	Alternativa (B + B')/2	Alternativa (C + C')/2
0.723	0.4135	0.3405

Fonte: Autora

Figura 1 – Simulação de Seleção de Alternativas Considerando Compensação de Impactos das Alternativas com Menor Energia

O exemplo acima considerou dados reais de um inventário recém-aprovado pela ANEEL. Portanto as duas primeiras tabelas transcrevem exatamente os números apresentados no inventário. A simulação proposta nesta qualificação não pretende esgotar o assunto, serve apenas como guia para estimular o aprofundamento dos estudos relativos a equalização do impacto ambiental nos mesmos moldes do que é feito com a dimensão energética.

Para fins deste exercício, foi proposto um conjunto de quatro novas componentes sínteses que seriam utilizadas para analisar os impactos das fontes complementares que serão utilizadas no caso da não viabilização do potencial hidráulico da alternativa de maior energia (C).

Considerando o mesmo peso para as quatro componentes (0.25), e simulando alguns valores de impactos para as alternativas A' e B' (referentes à complementação da energia por meio de usinas a carvão e nucleares), obtêm-se os novos valores de impacto que somados aos anteriores darão origem aos reais impactos de cada alternativa.

Neste exercício pode ser observado que a alternativa de menor impacto passaria a ser a C (em função de não necessitar adicionar novos impactos provenientes de novas fontes).

Esta proposta pode alterar significativamente os resultados obtidos nos inventários aprovados após o Manual de Inventário de 1997, que trouxe essa metodologia de análise multiobjetivo, visto que predominantemente as alternativas selecionadas são as de menor impacto.

Considerando a possibilidade de uma nova seleção de alternativas considerando a dimensão ambiental com a mesma compensação que a dimensão energética, sugere-se que sejam revisitados os inventários aprovados que seguirem esta metodologia.

### **3 CONCLUSÃO**

Ao longo deste artigo foram apresentadas questões passíveis de melhoramentos no planejamento e comercialização de usinas hidrelétricas, especialmente importantes para usinas hidrelétricas com reservatório de regularização.

Na etapa de inventário, propõe-se equalizar os impactos ambientais a exemplo da equalização energética, o objetivo é evitar a priorização que ocorre pelas alternativas de baixo impacto quando é feita a análise multiobjetivo preconizada no Manual do Inventário em sua versão vigente.

Na etapa de viabilidade há a recomendação para a revisão do manual vigente utilizado na elaboração dos estudos, posto que hoje os leilões são feitos a partir dos estudos de viabilidade e a tarifa de referência é calculada a partir das informações constantes nestes estudos. Com relação aos leilões e aos estudos de viabilidade há a necessidade de revisar a metodologia de cálculo da garantia física das usinas com reservatório de regularização de forma a garantir a remuneração adequada deste recurso.

### **4 REFERÊNCIAS**

CEPEL; 2007 *Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas* – Rio de Janeiro : E-papers, 684p. : il.