

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO REMANESCENTE EM PCHS DE DESVIO: A incorporação do valor econômico de Recursos Ambientais

Henrique Machado Moreira Santos¹; Afonso Henriques Moreira Santos²; Leopoldo Uberto Ribeiro Junior³ & José Guilherme Antloga do Nascimento⁴

RESUMO -- Este trabalho visa desenvolver a avaliação econômica de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, incorporando nessa análise, avaliações de impactos não precificados pelo mercado, como é o caso dos impactos ambientais, tomando como estudo de caso a PCH de Paraitinga, ainda a ser instalada. O trabalho desenvolve questões de valoração ambiental, de economia, de engenharia, apresentando o conceito da Valoração Econômica de Recursos Ambientais (VERA) com seus principais métodos, com base nas funções de produção e de demanda. Na parte econômica desenvolve-se o conceito de disposição à pagar, fundamental para a valoração ambiental, através de uma dedução de uma função que envolve a elasticidade, o preço e a disposição à pagar pelo bem. No estudo de caso, será analisada a definição da vazão remanescente no trecho de vazão reduzida (TVR). Essa análise será desenvolvida segundo a ótica de custo (função de produção) e segundo a ótica da disposição a pagar (função de demanda). Após esses estudos e valorações serão calculados diferentes cenários para o modelo proposto, contando com valores atuais e projeções. Os resultados deste desenvolvimento serão analisados para tentar chegar a uma vazão remanescente, em consenso com a geração e os impactos sócio-econômicos e ambientais provenientes da instalação da central.

ABSTRACT -- This paper seems to develop the economic analysis of Small Hydro Plants - SHP, incorporating in this analysis evaluations of priceless losses for the society, as the environmental damages, taking SHP Paraitinga as the study case. It involves questions related to environmental valuation, economics, and engineering, presenting the concept of the Economic Valuation of Environmental Resources (EVER). The main valuation methods are presented. In the economic analysis, the concept of willingness to pay is verified by using demand function, that involves the elasticity and the price. The price is calculated based on costs and the elasticity is calculated based on the essentiality of the goods or services, which could be reached by market observation. Only the remaining outflow definition, in the stretch of reduced outflow (SRO) of the project will be studied. After these studies and valuations, some scenarios will be adopted for the developed model, on current values and projections. A comparison of the present work and the methodology of commitment programming are carried out. Finally the results will be analyzed, trying to get the "optimum outflow", aiming at balancing power, tourism and environmental interests.

Palavras-chave: Vazão remanescente, Valoração Econômica, Pequena Central Hidrelétrica

¹ Engenheiro Hídrico da Schlumberger. Rua Joaquim Francisco, 341, Itajubá – MG – Brasil, CEP 37500-200, Fone (35) 36223114. E-mail henriqueemmsantos@yahoo.com.br

² Professor da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI GEE/ISSE. Av. BPS, 1303 Pinheiro, CEP 37500 -903. Fone (35) 36291455. E-mail: afonsohms@gmail.com

³ Engenheiro Hídrico. Avenida São Vicente de Paula, 735, Bairro São Vicente, Itajubá – MG, CEP 37502 - 082, Fone (35) 36225738. E-mail: leopoldo_junior@yahoo.com.br

⁴ Diretor do setor de Engenharia, Rua da Assembléia, 77 10º andar, Centro Rio de Janeiro – RJ, Cep: 20011-001. (21) 2169-7777 E-mail: jgan@brasilpch.com.br

1 INTRODUÇÃO

O presente tem por objetivo desenvolver o conhecimento de avaliação econômica de PCHs, incorporando nessa análise avaliações de impactos não precificados pelo mercado, como é o caso dos impactos ambientais. Nas PCHs de desvio, que são as mais comuns, existem dois tipos de impactos ambientais significativos: o causado pelo lago artificial e o causado pela redução de vazão no trecho desviado de rio, denominado normalmente de “trecho de vazão reduzida-TVR”.

Recentemente, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para estabelecer critérios para a definição da vazão remanescente no TVR, e os próprios órgãos reguladores do meio ambiente e de recursos hídricos vêm buscando embasamento técnico para a fixação de critérios. Entretanto, há uma mistura de conceitos econômicos, técnicos e ambientais, que dificultam esta tarefa.

Este trabalho visa contribuir com esta discussão, tomando como caso de estudo uma PCH a ser construída no rio Paraitinga, no estado de São Paulo, e que ainda está sob discussão ambiental para a definição da vazão remanescente no TVR. O trabalho apresenta métodos de valoração econômica de recursos naturais e de atividades econômicas, que se compõem com a valoração tradicional da energia elétrica, resultando em uma curva de custo total. Desta curva se procura o valor mínimo, e, daí, se encontra a vazão no TVR associada.

Complementarmente, se faz uma análise paralela, que envolve a percepção da sociedade com relação à importância de determinado bem ou serviço. Este “peso” é determinado através da disposição a pagar, associada fortemente à elasticidade. De forma semelhante à anterior, se busca compor uma curva de perda do consumidor (cidadão), de forma a originar uma curva, de onde se extrai a mínima perda para a sociedade, e, daí, a vazão associada no TVR.

2 VALOR ECONÔMICO DO RECURSO AMBIENTAL

A metodologia apresentada neste trabalho, segue a metodologia apresentada em Motta (1998) Embora o uso de recursos ambientais não tenha seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida em que seu uso altera o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade. Diante da presença destas externalidades ambientais, nós temos uma situação oportuna para a intervenção governamental. Essa intervenção pode incluir instrumentos distintos, tais como: a determinação dos direitos de propriedade, o uso de normas ou padrões, os instrumentos econômicos, as compensações monetárias por danos e outros.

Existe um consenso quanto às dificuldades da gestão ambiental. Os atuais problemas podem, contudo, ser classificados em três categorias principais:

- 1- baixas provisões orçamentárias em face dos altos custos de gerenciamento;
- 2- políticas econômicas indutoras de perdas ambientais;

3- questões de equidade que dificultam o cumprimento da lei.

Assim, é possível afirmar que nós temos uma clara situação que requer a introdução do critério econômico na gestão ambiental. Esta noção do papel do critério econômico está longe de ser inovadora e está cada vez mais difundida em outros países.

2.1 Determinação de prioridades e métodos para a gestão ambiental

As restrições orçamentárias impõem à sociedade a necessidade de responder duas perguntas fundamentais relativas à proteção ambiental, das quais se faz a base inicial desse estudo:

- 1 - Quais os recursos ambientais em que devemos centralizar esforços?
- 2 - Quais métodos econômicos devemos utilizar para atingir os objetivos desejados?

Resumindo, há que se definirem prioridades quanto ao que queremos conservar e onde. Até agora, a abordagem predominante tem se baseado no critério ambiental, biológico ou geográfico. Tendo em mente o propósito deste trabalho, é importante enfatizar que, independentemente da adoção de um determinado critério, podemos aumentar a eficiência da gestão ambiental com a utilização complementar de um critério econômico. Deve ser também enfatizado que o critério econômico está fundamentado, em grande medida, nas abordagens ecológicas de modo que se tome útil. Portanto, o conhecimento e entendimento de nossa biodiversidade será um pré-requisito para a aplicação do critério econômico.

Os três critérios utilizados no estudo são:

- 1- Análise Custo-Benefício
- 2- Análise Custo-Utilidade
- 3- Análise Custo-Eficiência

2.2 Determinação de critério econômico

2.2.1 Análise Custo-Benefício (ACB)

A ACB é a técnica econômica mais utilizada para a determinação de prioridades na avaliação de políticas. Seu objetivo é comparar custos e benefícios associados aos impactos das estratégias alternativas de políticas em termos de seus valores monetários. Entende-se por benefícios, aqueles bens e serviços ecológicos, cuja conservação acarretará na recuperação ou manutenção destes para a sociedade, impactando positivamente o bem-estar das pessoas. Por outro lado, os custos representam o bem-estar que se deixou de ter em função do desvio dos recursos da economia para políticas ambientais em detrimento de outras atividades econômicas. Os benefícios, assim como os custos, devem ser também definidos segundo quem se apropria ou sofre as consequências destes, isto é, identificar beneficiários e perdedores para apontar as questões equitativas resultantes.

2.2.2 *Análise Custo Utilidade (ACU)*

Ao invés de usar uma única medida do valor monetário de um determinado benefício, os indicadores são calculados para valores econômicos e também para o critério ecológico, como, por exemplo: insubstituíbilidade, vulnerabilidade, grau de ameaça, representatividade e criticabilidade. Cada indicador tem um peso absoluto e os benefícios das opções (de política, programas ou projetos) são avaliados com ponderações para cada indicador. Os resultados finais são, então, calculados para cada opção que representará alguma média ponderada para todos estes critérios. Pode-se dizer que ACU é uma abordagem muito custosa e, assim, estaria acima da capacidade institucional, do compromisso político e da aceitação social nos países em desenvolvimento. Com base neste juízo de valor, existem algumas sugestões na análise de custo-viabilidade onde a capacidade institucional, o compromisso político e a aceitação social são critérios adicionais para se avaliar projetos que englobam benefícios ecológicos e econômicos.

2.2.3 *Análise Custo-Eficiência (ACE)*

Caso a estimação de benefícios ou utilidade se mostrar muito difícil ou com custos acima da capacidade institucional, prioridades serão ordenadas somente com base apenas no critério ecológico. Neste caso, o que os tomadores de decisão podem fazer é empreender uma análise custo-eficiência. A ACE considera as várias opções disponíveis para se alcançar uma prioridade política pré-definida e compara os custos relativos destas em atingir seus objetivos. Desta maneira, é possível identificar a opção que assegura a obtenção do resultado desejado aos menores custos.

Note que a ACE não ordena opções para definir prioridades. A ACE deve ser encarada como um instrumental para definição de ações, tendo em vista que a prioridade já foi devidamente definida. Haverá também situações de decisão nas quais os custos institucionais da avaliação do projeto excedem aos ganhos de eficiência com uso de ACB ou ACU e, portanto, a ACE terá assim um papel importante na orientação de ações de gestão.

2.3 O valor econômico dos recursos naturais

Conforme discutido anteriormente, o valor econômico dos recursos ambientais geralmente não é observável no mercado através de preços que reflitam seu custo de oportunidade. Então, como identificar este valor econômico?

Deve-se perceber que o valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos e, segundo, que estes atributos podem estar ou não associados a um uso. Ou seja, o consumo de um recurso ambiental se realiza via uso e não-uso. Vamos explorar com mais detalhes estas considerações. Um bem é homogêneo quando os seus atributos ou características que geram satisfação de consumo não se alteram. Outros bens são, na verdade, parte de classes de bens ou serviços compostos. Nestes casos, cada membro da classe apresenta atributos diferenciados, como,

por exemplo, automóveis, casas, viagens de lazer e, também, recursos ambientais. Logo, o preço de uma unidade j do bem X_i , P_{xij} , pode ser definido por um vetor de atributos ou características, a , tal que:

$$P_{xij} = P_{xi}(a_{ij1}, a_{ij2}, \dots, a_{ijn}) \quad (1)$$

No caso de um recurso ambiental, os fluxos de bens e serviços ambientais que são derivados do seu consumo, definem seus atributos. Entretanto, existem também atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental, independentemente do fluxo atual e futuro de bens e serviços apropriados na forma do seu uso. Assim, é comum na literatura desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU).

Valores de uso podem ser, por sua vez, desagregados em:

Valor de Uso Direto (VUD) - quando o indivíduo se utiliza atualmente de um recurso, por exemplo, na forma de extração, visitação ou outra atividade de produção ou consumo direto;

Valor de Uso Indireto (VUI) - quando o benefício atual do recurso deriva-se das funções ecossistêmicas, como, por exemplo, a proteção do solo e a estabilidade climática decorrente da preservação das florestas;

Valor de Opção (VO) - quando o indivíduo atribui valor em usos direto e indireto que poderão ser optados em futuro próximo e cuja preservação pode ser ameaçada. Por exemplo, o benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas de florestas tropicais.

O valor de não-uso (ou valor passivo) representa o valor de existência (VE) que está dissociado do uso e deriva-se de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Uma expressão simples deste valor é a grande atração da opinião pública para salvamento de baleias ou sua preservação em regiões remotas do planeta, onde a maioria das pessoas nunca visitarão ou terão qualquer benefício de uso.

Assim, uma expressão para VERA seria a seguinte:

$$VERA = (VUD + VUI + VO) + VE \quad (2)$$

Note, entretanto, que um tipo de uso pode excluir outro tipo de uso do recurso ambiental. Por exemplo, o uso de uma área para agricultura exclui seu uso para conservação da floresta que cobria este solo. Assim, o primeiro passo na determinação do VERA será identificar estes conflitos de uso.

O segundo passo será a determinação destes valores, conforme Tabela 1 e Tabela 22.

Tabela 1 - Taxonomia Geral do Valor Economico do Recurso Ambiental

<u>Valor de Uso</u>			<u>Valor de Não-Uso</u>
Valor de Uso Direto	Valor de Uso indireto	Valor de Opção	Valor de Existência
Bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumidos hoje.	Bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas apropriados e consumidos indiretamente hoje.	Bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro.	Valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruísticas.

Tabela 2 - Exemplos de Valores Econômicos dos Recursos da Biodiversidade

<u>Valor de Uso</u>			<u>Valor de Não-Uso</u>
Valor de Uso Direto	Valor de Uso indireto	Valor de Opção	Valor de Existência
Provisão de recursos básicos: alimentos, medicamentos e não-madeireiros, nutrientes, turismo.	Fornecimentos de suportes para as atividades econômicas e bem-estar humano:	Preservação de valores de uso direto e indireto;	
	Provisão de recursos básicos:por exemplo: oxigênio, água e recursos genéticos.		
Uso não consumptivo: recreação, Marketing.Recursos genéticos de plantas.	Provisão de benefícios associados		Florestas como objetos de valor intrínseco, como uma doação um presente para outros, como uma responsabilidade; Inclui valores culturais,

2.3 MÉTODOS DE VALORAÇÃO

2.3.1 Métodos de Função de Produção:

Uma das técnicas de valoração mais simples e, portanto, largamente utilizada, é o método da função de produção. Neste método, observa-se o valor do recurso ambiental E pela sua contribuição como insumo ou fator na produção de um outro produto Z, isto é, o impacto do uso de E em uma atividade econômica. Assim, estima-se a variação de produto de Z decorrente da variação da quantidade de bens e serviços ambientais do recurso ambiental E utilizado na produção de Z. Este método é empregado sempre que é possível obterem-se preços de mercado para a variação do

produto Z ou de seus substitutos. Duas variantes gerais podem ser reconhecidas: método da produtividade marginal e método dos bens substitutos. A seguir discutiremos em separado a parte teórica destas variantes, embora a parte de avaliação de vieses e orientações seja apresentada em conjunto. Fará entender melhor as premissas dos métodos com base em função de produção, vamos elaborar em mais detalhes sua construção analítica. Suponha uma função de produção de Z , tal que o nível de produção de Z é dado pela seguinte expressão:

$$Z=F(X,E) \quad (3)$$

Onde X é um conjunto de insumos formado por bens e serviços privados e E representa um bem ou serviço ambiental gerado por um recurso ambiental que é utilizado gratuitamente, ou seja, seu preço de mercado P_e é zero. Note que E representa, assim, um valor de uso para na produção de Z . Sendo P_z e P_x os preços de Z e X , a função do lucro (π) na produção de Z seria:

$$\text{Benefício Líquido} = P_z Z - P_x X - p_e E = P_z F(X,E) - P_x X \quad (4)$$

O produtor ajusta assim a utilização do seu insumo de forma a maximizar o seu lucro. Assumindo que a variação de Z é marginal e, portanto, não altera seu preço, a variação de lucro seria:

$$\frac{\partial \pi}{\partial E} = p_z \frac{\partial F}{\partial X} - p_x = 0 \quad (5)$$

e

$$\frac{\partial \pi}{\partial E} = p_z \frac{\partial F}{\partial E} \quad (6)$$

Ou seja, a variação de lucro do usuário de E é igual ao preço de Z multiplicado pela variação de Z quando varia E .

2.3.2 Método da Produtividade Marginal

O método da produtividade marginal assume que P_z é conhecido e o valor económico de E (VE_e) seria:

$$VE_e = p_z \frac{\partial F}{\partial E} \quad (7)$$

Observe que VE_e , nestes casos, representa apenas valores de uso diretos ou indiretos relativos a bens e serviços ambientais utilizados na produção. Vale ressaltar que a estimação das funções de produção F não é trivial quando as relações tecnológicas são complexas.

Além do mais, as especificações de E em F são difíceis de serem captadas diretamente na medida em que E corresponde geralmente a fluxos de bens ou serviços gerados por um recurso ambiental que depende do seu nível de estoque ou de qualidade. Logo, se faz necessário conhecer a correlação de E em F ou, se possível mais especificamente, as funções de dano ambiental ou as funções dose-resposta (DR) onde:

$$E = DR(x_1, x_2, \dots, Q) \quad (8)$$

Onde x_i são as variáveis que, junto com o nível de estoque ou qualidade Q do recurso, afetam o nível de E .

Assim:

$$\partial E = \frac{\partial DR}{\partial Q} \quad (9)$$

Estas funções DR s procuram relacionar a variação do nível de estoque ou qualidade (respectivamente, taxas de extração ou poluição) com o nível de danos físicos ambientais e, em seguida, identificar o efeito do dano físico (decréscimo de E) em certo nível de produção específico.

Um exemplo de DR são as que relacionam o nível de poluição da água (O) que afetam a qualidade da água (E) que, por sua vez, afeta a produção pesqueira (Z). Outro exemplo, é o nível de uso do solo (O) que afeta a qualidade do solo (E) e, assim, afeta a produção agrícola (Z)".

Determinada a DR , é possível, então, estimar a variação do dano em termos de variação no bem ou serviço ambiental que afeta a produção de um bem. Funções de danos podem, contudo, apresentar mais dificuldades que as funções tecnológicas de produção, à medida que as relações causais em ecologia são ainda pouco conhecidas e de estimação bastante complexa. As relações ecológicas requerem estudos de campo mais sofisticados e a consideração de um número maior de variáveis. Questões como resiliência e capacidade assimilativa não permitem a determinação de formas funcionais simples para as DR s e suas respectivas funções de produção.

2.3.3 Métodos de Bens Substitutos

Outros métodos que utilizam preços de mercado, e na hipótese de variações marginais de quantidade de Z devido à variação de E , podem ser adotados com base nos mercados de bens substitutos para Z e E . Estes métodos são importantes para os casos onde a variação de Z , embora afetada por E , não oferece preços observáveis de mercado ou são de difícil mensuração. Casos típicos seriam aqueles em que Z é também um bem ou serviço ambiental consumido gratuitamente, ou as funções de produção e/ou dose-resposta não estão disponíveis, ou ainda encerram um esforço de pesquisa incomensurável. Por exemplo, um decréscimo do nível de qualidade da água O das praias resulta em um decréscimo de uma amenidade E que é um serviço ambiental de recreação cuja cobrança pelo seu uso não existe ou é limitada. Embora a provisão de E seja gratuita, a perda da sua qualidade ou escassez pode induzir ao uso de outros bens para realizar substituições de E . Ou seja, aumenta a demanda por substitutos perfeitos (S) de E . Substitutos perfeitos são aqueles em que o decréscimo de consumo de uma unidade pode ser compensado pelo uso de outro recurso por uma magnitude constante. Logo:

$$Z = F(X, E+S) \quad (10)$$

Assim, para manter o produto de Z constante, uma unidade a menos de E será compensada por uma unidade a mais de S. Logo a variação de E será valorada pelo preço de S (P_s) observável no mercado. Esta substituição fará com que os usuários incorram em um custo privado no consumo do bem substituto $C_s = P_s \cdot \Delta E$. Pensando numa firma como a usuária de E, existirá na função de lucro um custo C_s que será igual ao valor da produtividade marginal de E. Dessa maneira, o custo C_s refletiria o valor de uso para firma derivado do recurso E.

Da mesma forma, os indivíduos nas suas funções de utilidade podem encontrar substitutos perfeitos para o produto Z que consomem quando sua disponibilidade se altera devido a variação de E. Logo:

$$U(Z+S, Y_1, \dots, Y_n) \quad (11)$$

onde $U(Z+S, Y_1, \dots, Y_n)$ é denominada como uma função de produção familiar e Y os bens da cesta de consumo familiar. No caso, U pode ser também expressa por uma função de gastos (ou dispêndios) familiar. Assim, reduzindo uma unidade de Z devido a E, o valor de uma unidade de Z será P_z . Neste caso:

$$VE_e = p_s \frac{\partial U}{\partial E} \quad (12)$$

Portanto, existirá um c positivo na função de gastos dos indivíduos equivalente a $p_z \Delta Z$. Note que estes métodos também admitem que variações de E ou Z não alteram preços dos seus substitutos e, portanto, não induzem a variações do excedente do consumidor e produtor.

Dessa forma, com base em mercados de bens substitutos podemos generalizar três métodos que são normalmente de fácil aplicação, como segue:

Custo de Controle: O custo de controle é o custo incorrido pelo usuário para evitar a variação do insumo E.

Custo de Reposição: É o Custo dos gastos incorridos pelo usuários em bens substitutos para garantir o nível desejado do insumo.

Custos de Controle: Representa os gastos que seriam incorridos pelos usuários em bens substitutos para não alterar o Produto final Z que depende de do insumo E.

2.3.4 Método da função de demanda:

Os métodos de função de produção analisam casos onde o recurso ambiental está associado à produção de um recurso privado e geralmente assumem que as variações na oferta do recurso ambiental não alteram os preços de mercado. Os métodos de função de demanda, por outro lado, admitem que a variação da disponibilidade do recurso E altera o nível de bem-estar das pessoas e, portanto, é possível identificar as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) das pessoas em relação

a estas variações. Identificada a função de demanda D para E , o valor económico de uma variação de E seria dado pela variação do excedente do consumidor (EC), tal que:

$$\Delta EC = \int_{P_1}^{P_2} Ddp \quad (13)$$

onde P_1 e P_2 são as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) relativas à variação da disponibilidade de E .

2.3.5 Métodos de Bens Complementares

Da mesma forma que mercados de bens e serviços privados substitutos a bens e serviços ambientais podem oferecer medidas de valor de uso dos recursos ambientais quando estes representam a produção de um bem de demanda final que não tem preço observável, também mercados de bens e serviços privados complementares a bens e serviços ambientais podem ser utilizados para mensuração do valor de uso de um recurso ambiental.

Bens perfeitamente complementares são aqueles consumidos em proporções constantes entre si. Dessa forma, uma análise que recorra aos mercados destes bens ou serviços privados complementares pode gerar informações sobre a demanda do bem ou serviço ambiental relacionado com estes. Se um bem é um complementar perfeito a outro bem, seu valor será zero se a demanda pelo outro bem for zero. Ou seja, existe uma função utilidade onde X é um vetor de quantidades de bens privados e Q é o bem ou serviço natural não valorado no mercado complementar a X , na seguinte forma:

$$U = U(Q,X) \quad (14)$$

Maximizando U sujeito à restrição orçamentária $Y=PX$, permite que diversos pontos da demanda individual de X em X sejam identificados, tal que:

$$X_i = X_i(R,Q,Y) \quad (15)$$

Como Q influencia a demanda ordinária de X_i então, estimando a demanda de X_i para vários níveis de Q , é possível estimar indiretamente a demanda de Q . Daí medidas de variação do excedente do consumidor marshallianas de variações de Q' para Q'' podem ser estimadas como a área entre as curvas de demandas $X_i(RQ',Y)$ e $X_i(RQ'',Y)$. Entretanto, conforme veremos estas transformações não são triviais e, portanto, vamos discutir dois métodos com base neste fundamentos teóricos.

3 CONCEITO DE DISPOSIÇÃO A PAGAR

A variação do preço praticado por um determinado bem ou serviço em função da quantidade deste consumida por um indivíduo ou grupos de indivíduos, é denominada função de demanda, que expressa a preferência destes indivíduos para esse mesmo bem ou serviço.

A disposição a pagar por um bem ou produto depende da elasticidade desse bem no mercado, que determina, também, a inclinação da curva da função de produção. A elasticidade significa o quanto a sociedade reage a falta de um bem, por exemplo, se uma pessoa quer comer pão com manteiga, mas só tem queijo na geladeira ela, pode muito bem comer o pão com queijo mesmo. Ou ainda se essa mesma pessoa esta comprando requeijão na padaria e o preço subiu, ela simplesmente deixa de compra-lo. Isso significa que a manteiga e o requeijão são muito elásticos, ou seja, a disposição a pagar (DP) por eles é pequena.

A equação da elasticidade de um bem ou produto é dada por

$$E = - \frac{p_0 (x_1 - x_0)}{x_0 (p_1 - p_0)} \quad (16)$$

a seguir tem-se a dedução da equação da Disposição a Pagar em função da elasticidade:

Temos, portanto, matematicamente que quanto menor a elasticidade de um produto ou serviço no mercado, maior a disposição a pagar por ele, e vice versa, se a Elasticidade for maior que 1 a disposição a pagar por um bem ou serviço será menor do que o preço inicial. E se a elasticidade for menor do que 1 acontece o contrario, a DP supera o preço praticado pelo mesmo bem ou serviço anteriormente.

Agora que se explicou como conseguir a DP a partir de uma elasticidade que pode ser dedutível, pode-se entender as adoções do trabalho, a começar pela energia elétrica.

Após levantar a curva de geração de energia pela variação de vazão no TVR, o trabalho esperava novos cenários para comparação. Para este caso foi adotado o preço de mercado do MWh a R\$125,00, e a elasticidade conhecida da energia elétrica de 0,2.

Para outros cenários foi incorporado aos cálculos um valor futuro de 150,00 R\$/MWh e uma elasticidade de 0,4. Essa elasticidade de se explica pelo fato de o consumidor poder contar, cada vez mais com alternativas de tecnologia mais eficientes, ou seja, mesmo que a sociedade não consiga deixar de consumir energia elétrica ela pode economizar a mesma.

Para o meio ambiente, foi criado uma curva em função da necessidade ou não da construção de pequenos barramentos ao longo do TVR. Sendo o cenário estudado de 20 anos foi necessário transformar esse custo ambiental em pagamentos anuais, para o qual foi utilizada uma taxa de desconto de 12% assim como o mercado indica. Para esse mercado a elasticidade adotada por critério que incluem a subjetividade foi de 0,1 e 0,08. Elevando a curva da DP pelo meio ambiente. Pois se trata de um mercado muito pouco elástico já que deve-se, para a atual realidade, não só que manter-se o que resta como ainda retomar o meio ambiente buscando deixar algo melhor para as gerações futuras.

Outro ponto analisado no trabalho foi o turismo impactado pela redução de vazão no TVR. Para o turismo foi levantado um valor a partir de uma relação entre o PIB geral do Brasil e o seu PIB de turismo. E fazendo uma transposição dos dados nacionais para os dados das cidades afetadas, as quais foram consideradas Lorena e Cunha, tem-se um valor para o custo anual aplicado ao turismo.

Para a elasticidade do Turismo houve um caso diferente dos outros, o valor é maior do que 1. O que quer dizer que o turismo é pouco elástico. Isso se explica facilmente, se uma pessoa faz a mesma rota de viagem todas as férias e em um certo ano a passagem fica mais cara, essa pessoa simplesmente deixa de viajar ou vai para outro lugar. Ou seja, a disposição a pagar pelo turismo é pequena, mesmo por que existe uma grande oferta. No caso deste trabalho a elasticidade adotada para o turismo foi de 2. levando em consideração a sua baixa elasticidade.

A meta principal do trabalho é buscar uma vazão ótima para o TVR aonde se satisfaça as condições sócio-econômicas e ambientais. O custo ambiental que será chamado de CA é formado basicamente pela ação mitigadora que depende da variação da vazão no TVR, chamada aqui de AQ, a ação mitigadora que não depende da vazão no TVR, AM, e pelas ações compensatórias, AC. Portanto parte-se para uma demonstração matemática dos impactos analisados.

Como descrito, temos a equação do custo ambiental:

$$CA = AQ + AM + AC \quad (17)$$

O custo total a ser calculado, depende do custo ambiental, CA, do custo do turismo, CT e do custo da energia elétrica, CEE:

$$C_{total} = CA + CT + CEE \quad (18)$$

Buscando um mínimo custo deve-se igualar à zero as derivadas das funções em relação a vazão no TVR e substituindo-se a equação do CA na equação anterior e zerando as derivadas das funções que não dependem da vazão no TVR, tem-se que o universo dos custos levantados por esse trabalho. Sendo apenas relevante para esse estudo as variações que dependem da vazão no TVR.

4 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO À PCH PARAITINGA

4.1 Caracterização do empreendimento

O aproveitamento Paraitinga situa-se no trecho superior do rio Paraitinga a cerca de 17 km da cidade de Cunha e a 30,5 km da cidade de Guaratinguetá. O acesso ao local da Usina pela rodovia Presidente Dutra (BR 116) a partir de Guaratinguetá seguindo a rodovia Guaratinguetá-Parati até a localidade de Rocinha numa distância de 20 km. e a partir de Rocinha, por estrada não pavimentada de tráfego permanente até o sítio do aproveitamento, com distância de 85 km.

Segundo ELETRORIVER (1999), no local do aproveitamento, o rio Paraitinga drena uma área de 476 km², apresentando uma vazão média a longo termo de 12,3 m³/s. Nesse local o rio se desenvolve sobre rocha gnáissica sã, tendo elevado gradiente em curto trecho, com uma queda natural de 85 m numa extensão de 1600 m.

Os estudos objetivam a implantação de uma PCH, procurando-se obter uma usina de simples operação e com reduzidos impactos ambientais. Para tanto foi selecionada uma diretriz de projeto compreendendo uma barragem de altura modesta formando um reservatório de dimensões discretas e operando a fio d'água, um vertedouro do tipo "bico de pato".

Os estudos energéticos e econômicos concluíram pela instalação de duas unidades de 3,5 MW cada, em usina a qual poderá operar com regularização diária com uma depleção máxima de 40 cm no reservatório.

Conforme trabalho desenvolvido no local, verificou-se que as terras lindeiras, ao trecho de vazão reduzida, estão voltadas para uso agrícola ou com cobertura de vegetação arbórea (ciliar), sendo que 65,50% das terras são destinadas a pastagens, e 34,5% tem cobertura de vegetação ciliar. Também ficou apurado que 80 % das propriedades rurais utilizavam o rio Paraitinga para a dessedentação do rebanho.

Os estudos energéticos para dimensionamento da PCH elaborados no projeto básico aprovados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, resultaram em uma potência instalada de 7 MW.

Neste projeto, a vazão mínima no trecho de vazão entre a barragem e a casa de força era de 0,20 m³/s, no entanto o Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental – DAIA do Estado de São Paulo, ao expedir a licença prévia, limitou a vazão mínima a ser garantida no trecho com a Q_{7,10}, que neste caso equivale a 3,12 m³/s. Em busca de uma maior flexibilização para o tratamento dessa questão, o empreendedor propôs ao DAIA o aumento no TVR para 500 l/s (0,50 m³/s).

4.2 Variação da Energia

Para determinar uma curva de valores do lado do Produtor, calculamos a variação da Vazão Turbinada a partir da vazão remanescente no trecho de vazão reduzida (TVR). Obtendo assim, as diferentes energias médias geradas em cada ponto. Com esses dados foi possível definir o montante deixado de gerar e arrecadar pela central proporcionalmente ao aumento da vazão no trecho.

Para as simulações e contas, foram utilizadas diferentes medidas de vazão no TVR, partiu-se da vazão remanescente determinada pelo projeto da PCH, de 200 l/s, ou 0,2 m³/s, que corresponde à 8% da vazão Q₇₋₁₀. Para valores menores foram adotados as vazões experimentais 1 e 2, de 0,18 e 0,15 m³/s respectivamente e como vazões superiores ainda 10% Q₇₋₁₀(0,26 m³/s), padrão Luz (20%

$Q_{7-10} = 0,52 \text{ m}^3/\text{s}$, 30% Q_{7-10} ($0,78 \text{ m}^3/\text{s}$), Montana 10% ($0,82 \text{ m}^3/\text{s}$), Q_7 ($0,92 \text{ m}^3/\text{s}$) e 50% Q_{7-10} ($1,31 \text{ m}^3/\text{s}$).

Foram utilizados dois valores da Energia, visando um horizonte de 20 anos. Para o valor presente foi adotado valor médio de leilão de 125,00 R\$/MWh, e para o valor futuro foi estipulado 150,00R\$/MWh.

Com as diferenças de arrecadação devido as Vazões de TVR, calculadas, chegou-se à um valor de perda para o produtor. Porém deve-se lembrar que a energia elétrica é uma demanda da sociedade e não apenas do investidor, com isso deve-se chegar a um valor que a sociedade está disposta a pagar por esse serviço. Não apenas o seu valor “seco” pois as análises feitas neste trabalho estão baseadas no quanto a sociedade esta disposta à pagar para a energia elétrica ou para o meio ambiente.

Sendo a elasticidade de mercado E, conhecida para a Energia Elétrica, aonde, para duas simulações, adotamos a E presente de 0,2, e, para outro cenário uma elasticidade futura de 0,4.

No trabalho, a disposição à pagar pela energia elétrica é chamada de perda da sociedade, pois se trata do quanto a sociedade está disposta a pagar por aquela energia que deixou de ser gerada com o aumento da vazão no TVR, ou seja o quanto a sociedade está perdendo com isso.

No primeiro gráfico, Figura 119, temos as curvas da perda de receita do produtor e das perdas da sociedade para as elasticidades de 0,2 e 0,4, em um ambiente onde o MWh está a R\$ 125,00.

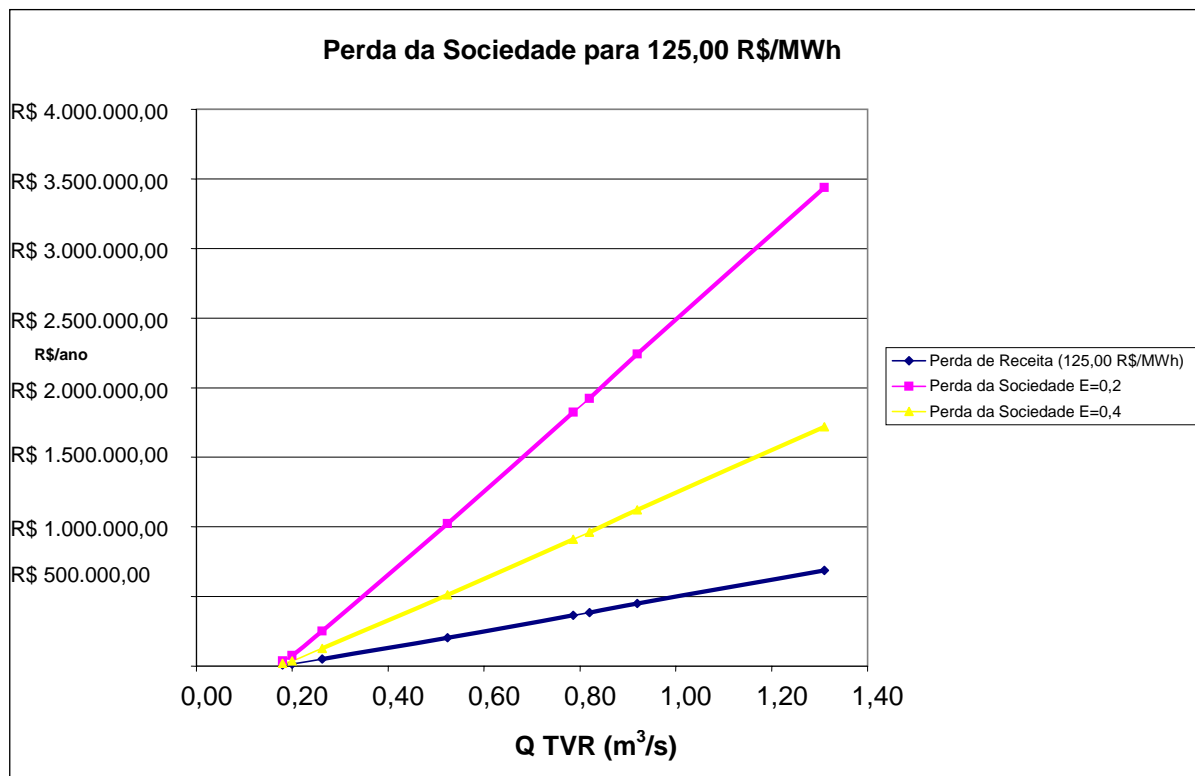


Figura 1 – Perda da sociedade para 125,00R\$/MWh

Após os cálculos, foi possível verificar para a perda de receita do empreendimento devido ao aumento de vazão no TVR para 1,31 m³/s, temos a quantia considerável de R\$ 687.719,96 por ano, em relação à vazão de projeto inicial de 200 l/s, com o valor do MWh de R\$125,00. Para um valor futuro, também usado nas simulações, de R\$150,00/MWh a perda gerada pela redução de água turbinada, é de R\$825.263,95 para os mesmo 1,31 m³/s no trecho de vazão reduzida.

4.3 Impacto Ambiental

A alteração nas condições naturais do TVR é o impacto inerente à concepção de uma PCH, devendo ser assumido com todas as suas conseqüências. Pretender que se garanta as mesmas condições naturais por via do aumento da vazão residual implica na rejeição da alternativa tecnológica assumida. Assim, o foco a ser explorado deve ser a mitigação desses impactos, garantindo uma vazão que atenda aos critérios sanitários e ecológicos e de usos da água, considerando as particularidades de cada caso.

Várias tem sido as medidas mitigadoras propostas como, por exemplo, a implantação de pequenos barramentos ao longo do TVR, em locais que apresentam baixa declividade, garantindo assim a manutenção da lâmina d'água em condições próximas às naturais, preservando alguns de seus usos, como dessedentação animal, banho, lazer, pesca, divisa de propriedades, além de manter condições de umidade às vegetações marginais e beleza paisagística. Também em muitos casos, permite a permanência de peixes, além de sua migração.

As medidas mitigadoras apropriadas a cada caso mostram-se mais eficientes que a simples manutenção de uma vazão residual elevada, caso seja esta fixada apenas com base quantitativa.

Via de regra, os locais propícios para a implantação de PCHs apresentam quedas elevadas e conseqüentes TVRs com forte declividade, onde o acréscimo de vazão não resulta em benefícios proporcionais, pois a lâmina d'água pode ser pouco afetada.

Neste trabalho estes pequenos barramentos foram utilizados como ação mitigadora dos impactos ambientais e dessedentação animal. Levando em consideração o método de bens ou serviços substitutos, o impacto ambiental foi valorado a partir do custo dos barramentos.

4.4 Cálculo dos barramentos

O trabalho começou levantando o perfil longitudinal do TVR como já identificado anteriormente. Com esse perfil pôde-se traçar trechos entre as curvas de nível disponíveis, curvas essas com desnível de 5 metros, obtendo assim a declividade de cada trecho. Paralelamente foi obtido, para diferentes declividades e larguras, através da fórmula de Manning, a profundidade média da lâmina d'água para a vazão média disponível no projeto. Com essa altura foi determinada uma altura mínima aonde não se precisaria de ações mitigadoras.

Com os dados em mãos, levantou-se o número de barragens necessárias para cada vazão, declividade e largura do leito, através da altura da lâmina demandada para cada trecho em diferentes situações de vazão, formando assim diversos cenários até o ponto de 70% da Q_{7-10} ponto fixado onde não se precisaria mais dos mesmos barramentos. Com o custo dos barramentos prontos o próximo passo foi calcular o custo da obra, através do preço do m^3 do concreto, viagens e estimativa de mão de obra, chegou-se ao valor de R\$6.000,00 por barramento. Custeando, assim, a instalação total dos barramentos para cada opção de vazão no TVR.

Tendo em vista que o trabalho propôs um cenário de 20 anos, e que a instalação dos barramentos é feita apenas uma vez, foi necessário fazer uma projeção dos pagamentos anuais dos custos de instalação dos mesmos. Para tanto foi adotado uma taxa de desconto de 12% seguindo o mercado atual, conforme Figura 2.

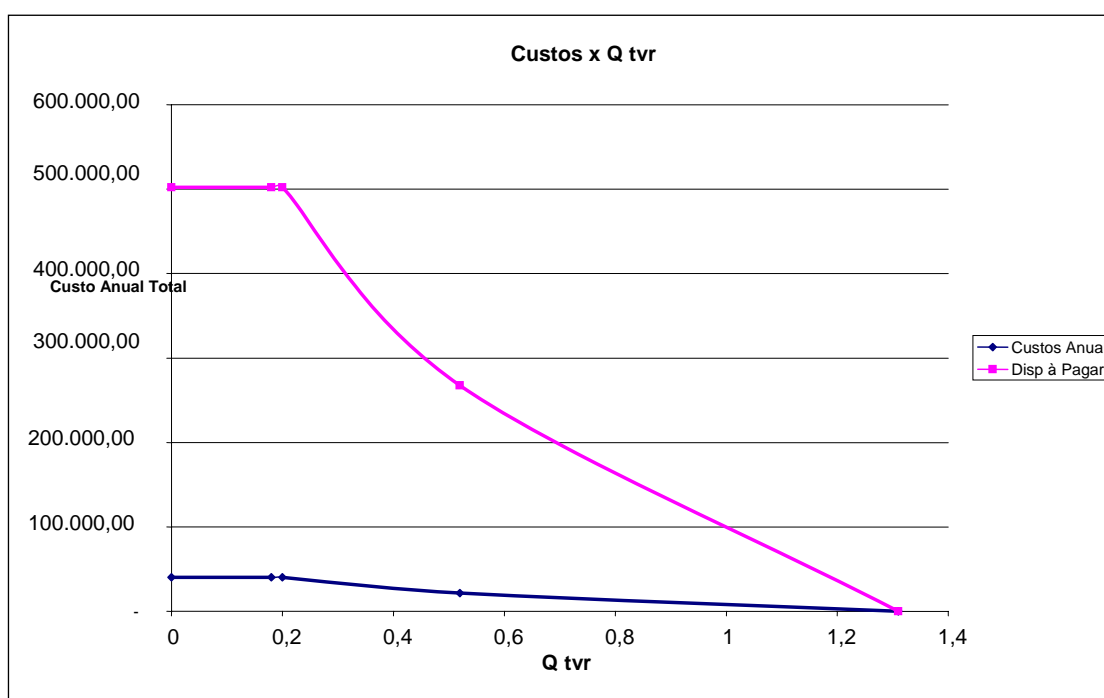


Figura 2 – Variação do custo em função da variação da vazão no trecho de vazão reduzida

4.5 Turismo

No caso dos impactos sócio econômicos, após uma análise de campo, determinou-se para o trabalho que seriam levados em consideração apenas os impactos no turismo, pois não se trata de uma região povoada sem a necessidade de realocação de moradores, tanto ao longo do trecho de vazão reduzida quanto na área de alagamento da barragem.

Como turismo, entende-se, para o ponto, viagens para pesca e nado em pequenos represamentos naturais ao longo do trecho.

Para a valoração do custo do turismo na região foi levantado inicialmente qual a porcentagem do PIB do turismo sobre o PIB geral do Brasil, sendo este valor de 5,56%. Este valor foi adotado no trabalho como padrão para uma transposição de dados. A transposição foi feita adotando o mesmo percentual de PIB encontrado para o Brasil, sobre o PIB da cidade de Cunha, onde se localiza o empreendimento. Os dados do PIB de Cunha foram levantados no site do IBGE para o ano de 2002. Com isso foi possível determinar o “valor do turismo em Cunha. A mesma metodologia foi utilizada para a cidade de Lorena, maior do que a anterior e que também integra o empreendimento.

Foram adotadas duas quantidades de pontos turísticos diferentes para as cidades, de forma a gerar cenários para as análises. Para calcular o valor de cada ponto dividiu-se o PIB calculado para o turismo pelo número de pontos considerados. Foram feitas simulações para a existência de 20 e 40 pontos turísticos. Também foram calculados cenários considerando um valor percentual do PIB maior, de 10% de modo obter uma visão otimista do caso.

Para a obtenção da curva, adotou-se um valor constante máximo do ponto até uma vazão remanescente de 200l/s considerando que antes disso não ocorre turismo algum no local. A partir desse ponto o valor do custo decresce em uma função constante até zerar em 1,83 m³/s que equivale à 70 % do Q₇₋₁₀. Foi levado em consideração que a partir desse valor não há impacto para o turismo.

Para a estimativa da disposição a pagar pelo turismo adotou-se o valor da elasticidade de 2 como já explicitado anteriormente no trabalho. O que transforma as curvas de custo dos cenários calculados em curvas de disposição menos inclinadas.

Para atingir o objetivo do trabalho foi utilizada a mesma metodologia da programação por compromissos conforme Santos et al (2004), variando o quanto é afetado cada item de acordo com a vazão no TVR. Porém não foram utilizados pesos, mas sim, como já comentado anteriormente, uma variação da elasticidade da função de produção de cada aspecto abordado. Foram construídos diferentes cenários para uma análise global da metodologia.

Como não foi considerada a disposição a pagar, os cenários foram calculados com o valor presente de 125,00 R\$/MWh. Para o primeiro caso os dados apresentados foram considerando o PIB do turismo como 5,56% do total apenas da cidade de Cunha, já para o segundo caso temos o PIB turismo como 10% do total, conforme Figura 3 e Figura 4.

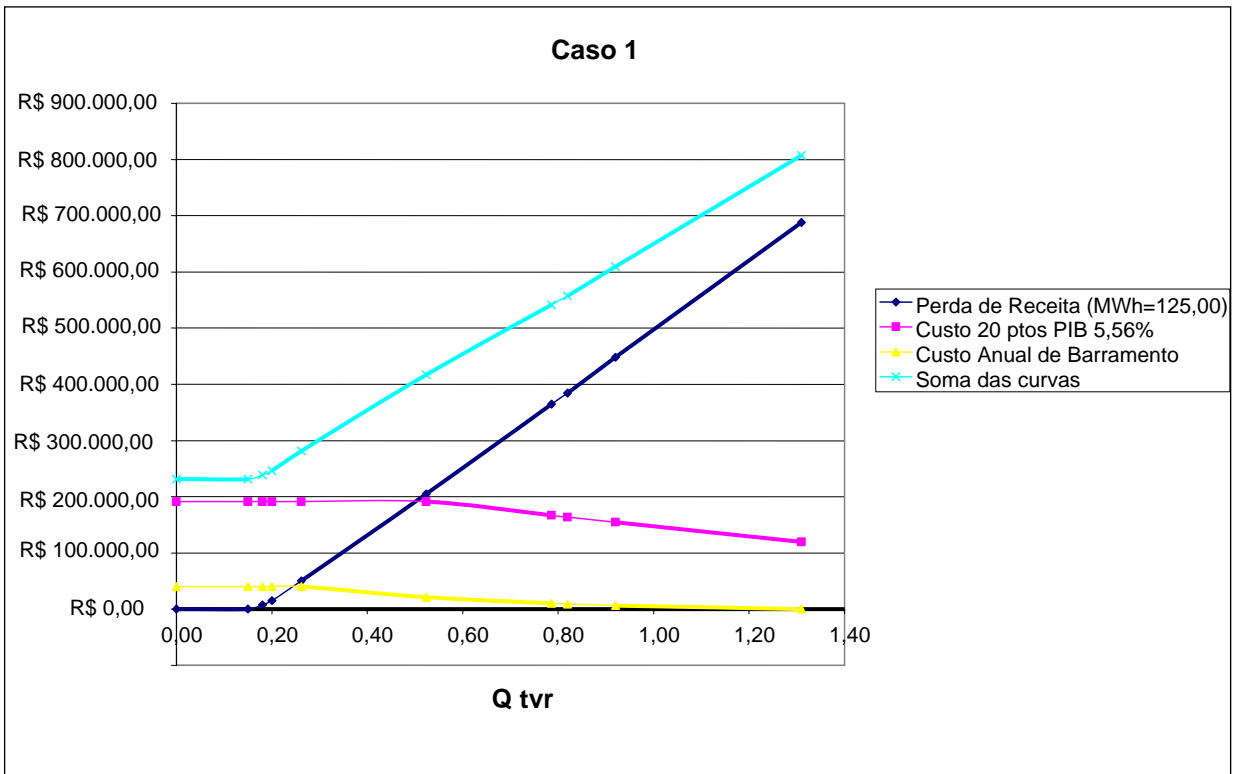


Figura 3 - Soma de custos: cenário 125 R\$/MWh, 5,56% do PIB

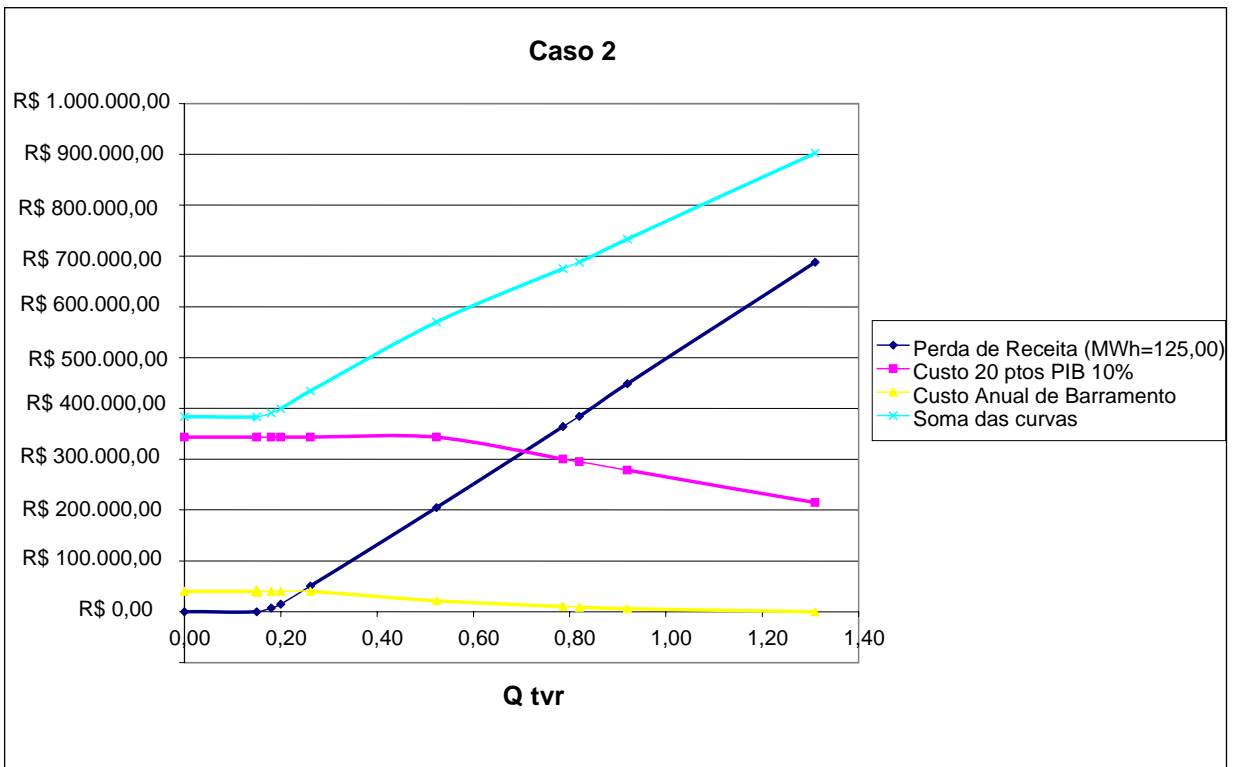


Figura 4 - Soma de custos: cenário 125 R\$/MWh, 10% do PIB

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma melhor compreensão dos resultados desse trabalho deve-se, primeiramente, deixar explícito que se trata de um desenvolvimento que buscou ser pedagógico na sua íntegra ou em quase toda.

Ao observar os dois primeiros casos expostos entre as simulações de valores temos a vazão ótima como sendo a menor possível. Mas esse caso reflete apenas o interesse da geração de energia e não o interesse global como se vem buscando ao longo de todo o trabalho e como foi exemplificado no “método de programação por compromisso”.

Para os outros quatro casos as perdas da sociedade e disposições a pagar entraram em cena moldando uma nova curva “soma das curvas”. A idéia das simulações é buscar uma vazão ótima para permanecer no trecho de vazão reduzida da central, buscando sempre minimizar o impacto sócio-econômico e ambiental. Ou seja, manter a maior vazão remanescente possível sem prejudicar a geração de energia elétrica.

Para os cálculos foram adotados alguns valores e descartados outros para uma melhor exibição e compreensão do trabalho.

Nos dados do barramento o custo é constante até o ponto de $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ considerando que até essa vazão são necessários todos os barramentos calculados. A quantidade de barramentos começa a cair seguindo uma equação levantada por pontos a partir desse valor.

Para o turismo acontece o mesmo, o custo máximo de disposição a pagar pelo turismo no ponto é constante até o mesmo valor de vazão, entendendo que este não existe para valores abaixo disso. Mas acima, para uma facilitação de contas, adotou-se como seu valor caindo continuamente até zerar em $1,81 \text{ m}^3/\text{s}$, valor adotando como sendo o valor de seca para a região.

Como o objetivo do trabalho era, como citado à pouco, de adotar uma vazão ótima no TVR de modo que ela fosse a maior possível, por causa do meio ambiente, mas que prejudicasse o mínimo a geração de energia elétrica, temos esse ponto de $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ como muito próximo do ideal. Pois o ponto ótimo indicado pela curva abaixo de $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ só serve para a formação matemática do método, não sendo aplicável à nenhuma situação.

Percebe-se pela linha da soma das curvas que, mesmo quando o mínimo não está situado na vazão de $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$, o crescimento da DP total até esse valor é muito pequeno, aumentando consideravelmente só a partir desse ponto.

As curvas obtidas nas simulações vistas anteriormente como outras limitações técnicas, como escada de peixes por exemplo, levam a vazão ótima a ser adotada para essa usina.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho proporciona uma visão de economia, com diversos pontos envolvendo a aplicação dessa ciência na engenharia, sendo esse o foco do estudo, visando desenvolver um tratamento diferenciado para os problemas abordados. Assim como desenvolveu também a capacidade de transformação de questões teóricas, como a valoração ambiental e seus métodos, em algo palpável, como a comparação dos custos e disposição à pagar dos aspectos sócio-econômicos e ambientais e a geração de energia elétrica. Algo que até mesmo os livros pesquisados citam como de “difícil realização”. Mas, desenvolveu-se de forma satisfatória, permitindo encontrar os resultados desejados no início da pesquisa.

O trabalho desenvolve mais uma metodologia para a determinação da vazão remanescente, que pode ser aplicada para casos parecidos com o do estudado, tendo assim um grande potencial de uso, dependendo apenas de um melhor levantamento dos dados a serem disponibilizados na comparação. Mas, ainda sim podendo ser utilizado como metodologia independente da região, época, ou ainda dos tópicos estudados, formando assim um padrão de comparação, quando acompanhado de uma pesquisa bem desenvolvida voltada para os pontos a serem levantados.

Este trabalho, portanto, se apresenta com uma grande capacidade de subsidiar decisões sobre a vazão a ser deixada no trecho de vazão reduzida em casos onde não se chega a um consenso entre as partes envolvidas, equilibrando tanto o lado do empreendedor quanto o lado dos órgãos ambientais e sociais que estudam o projeto.

BIBLIOGRAFIA

ELETRORIVER S.A.; GEOLOGOS CONSULTORES LTDA. *Projeto Básico da Usina Hidrelétrica Paraitinga II*, 1999.

MOTTA, R.S. *Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1998.

SANTOS, A. H. M; RIBEIRO JUNIOR, L.U.; GARCIA, M.A.R.A; SEVERI, M.A. *Vazão remanescente no trecho de vazão reduzida de pequenas centrais hidrelétricas*. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR, 2003.

SANTOS, A. H. M; RIBEIRO JUNIOR L.U.;BORTONI, E.C. *Determinação Da Vazão Remanescente No Curso D´Água Utilizando Métodos Multicriteriais Como Auxílio Á Tomada De Decisão* XXI Congresso Latinoamericano De Hidráulica São Pedro, Estado De São Paulo, Brasil, 2004.