



## **Estimação de custos de PCH**

Afonso Henriques Moreira Santos <sup>1</sup>  
Benedito Cláudio da Silva <sup>2</sup>  
Ricardo Nogueira Magalhães <sup>3</sup>

### **RESUMO**

As mudanças ocorridas no cenário energético brasileiro ao longo dos anos, tais como o aumento da demanda e a procura de fontes de energia renováveis, limpas e viáveis economicamente, estimulam investidores para o ramo de pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Tais características juntamente com uma série de incentivos econômicos, mecanismos legais e também regulatórios facilitaram e incentivaram a construção de novas centrais deste tipo e tem atraído um número cada vez maior de investidores para o setor.

A análise de custos e viabilidade dos investimentos trata-se de um estudo usado há muitos anos no ramo empresarial, em PCH devido a uma série de estudos preliminares com custos significativos anterior ao projeto civil, nos leva à necessidade de se ter uma análise de viabilidade já no início destes estudos, justamente o que propõem a metodologia aqui apresentada. Tal análise de viabilidade, nos moldes comuns, em que se destacam os custos unitários básicos de cada insumo seria de grande complexidade, isso se deve ao fato da grande dificuldade em se conseguir informações na fase inicial dos projetos. Neste sentido, este trabalho trás uma contribuição para investidores e para projetistas de pequenas centrais hidrelétricas, pois traça uma relação entre as características físicas e energéticas da pequena central hidrelétrica com seu custo total. Tal relação se baseia nas características físicas disponíveis na fase inicial do projeto, possibilitando uma comparação previa entre diferentes tipos de arranjos de uma mesma central ou até mesmo a comparação de retorno do investimento entre diferentes usinas. Tal análise já no início dos estudos traz como benefício à possibilidade de escolha de centrais com maior viabilidade econômica podendo assim descartar empreendimentos ruins ou arranjos de custo mais expressivos.

---

<sup>1</sup> MS Consultoria / Unifei

<sup>2</sup> iX Consultoria / Unifei

<sup>3</sup> iX Consultoria

O resultado final deste estudo possibilita ao investidor verificar qual empreendimento ou arranjo que possibilite um melhor prazo de retorno de seu investimento auxiliando assim na escolha de potências e arranjos melhores otimizados, e também em uma economia de tempo e trabalho, o que minimiza o custo das obras.

Em detrimento do grande numero de arranjos para pequenas centrais foi escolhido para este estudo o tipo de arranjo mais comum no Brasil, central de média e alta queda, de desvio com chaminé de equilíbrio e conduto de baixa pressão.

## **ABSTRACT**

Changes in Brazilian energy scenario through last years such as increase of demand and search for clean and economically feasible renewable energy sources, has stimulated investors to small hydro power plants (SHP) sector. Such characteristics together with several economic incentives, legal and regulatory mechanisms also, have helped and stimulated building of new plants of this kind and have attracted a great number of investors to this sector.

Study of costs analysis and feasibility of investments is a study which has been used since long time in SHP business market as several preliminary studies previous to civil project have significant costs which lead us to count with a feasibility analysis from the very beginning of studies, exactly what is suggested in the present methodology. Such feasibility analysis, in the common patterns where basic unit costs of each input remain outstanding, would be very complex due to great difficulty in obtaining information at initial phase of project. In this direction this study brings a contribution for investors as well as for designers of small hydro power plants since it outlines a link between physical and energetic characteristics of small hydro power plant in its total cost. Such link is based in available physical characteristics in initial phase of the project, making possible a previous comparison between arrangements of a central or even the comparison of return of investment between different plants. The resulting benefit being the possibility of choosing centrals with greater economic feasibility disregarding bad undertakings or arrangements with more expressive cost.

Final result gives a better delay in return of investment, helps in power, arrangements more optimized and in saving time as well, reducing costs of undertakings. Due to large number of SHP arrangements, we chose for this study the most common in Brazil, plant of medium and large fall, shunting line balance chimney and low pressure conduit.

## **1. INTRODUÇÃO**

A crescente demanda de energia ao decorrer dos anos vem estimulando estudos e projetos de novos potenciais e fontes de energia mais limpas e ambientalmente corretas, o que estimulou a procura por pequenas centrais hidrelétricas, ou simplesmente PCH.

Em fatores econômicos, as PCH's têm como vantagem um menor custo se comparado com outras fontes energéticas ambientalmente atrativas. Para se avaliar tal viabilidade são

necessários estudos, os quais indicam o custo inicial do empreendimento. Uma boa forma de se estimar o custo inicial deste trata-se da utilização de curvas ou equações paramétricas de custo. Tais equações permitem calcular inicialmente o valor total do projeto em função das características básicas do arranjo e tipo de central.

O uso de modelos paramétricos de análise de custos se baseia na relação de que produtos, construção civil e, conseqüentemente, empreendimentos energéticos como pequenas centrais hidrelétricas têm seus custos ligados a certas características físicas e que estas características tendem a serem sempre direcionadores de custos, independente da época em que se constrói o empreendimento.

Com o passar dos anos grandes mudanças no setor empresarial e de investimentos levaram a um aumento na concorrência e uma corrida por novos produtos entre as empresas. Devido a tais mudanças a estimativa de custo de um determinado empreendimento tornou-se cada dia mais importante. Provido de tal informação, já nas fases iniciais de projeto, pode-se obter uma análise prévia de viabilidade do mesmo, agilizando assim a tomada de decisão do empreendedor.

A prática de se estimar custos é estudada há vários anos e trata-se de uma ótima técnica de previsão de custos e de suma importância levando-se em conta que o custo de um empreendimento é fator limitante para sua realização concepção e implementação, objetivando uma visão de tempo de retorno do investimento ao investidor e viabilidade do mesmo.

Com a identificação e a caracterização física e tecnológica de um determinado produto, seguindo determinados critérios de análise, o método escolhido para se determinar quantidades de materiais e o custo deste, deve levar em conta um erro não significativo e a precisão requerida para aquele fim, ao qual se destina tal estimativa (Otero, 2000). Pode-se dizer que, o erro aceitável estabelecido como base em um determinado estudo é variável de acordo com o tipo de estudo e ao nível de uso.

Uma prévia do custo da construção é necessária e de suma importância antes da elaboração de projetos detalhados e é considerado como uma ferramenta básica e necessária para o gerenciamento da construção, sendo peça fundamental para a elaboração de um estudo de viabilidade e no planejamento e programação do cronograma do empreendimento (Losso, 1995).

O orçamento de um empreendimento do ramo de energia tornou-se de suma importância, sendo este gerado em diversas etapas processo de construção. As estimativas de custo da construção são realizadas em várias etapas, antes, durante e depois da elaboração dos projetos, dependendo, exclusivamente, do nível de detalhamento previsto para a etapa em que se encontra o projeto.

Pode-se assim dizer que a metodologia usada no estudo de previsão de custo encontra-se fortemente relacionada com o estágio e aprofundamento dado em cada etapa do projeto, com a duração prevista para cada módulo e com a precisão necessária que se estipula para cada etapa e ao projeto final.

Existem variadas metodologias de previsão de custo, sendo estas abastecidas por bancos de dados compostos por informações de projetos anteriores, podendo estes serem de origem e características diversas, podendo assumir características quantitativas ou estabelecer relações entre as variáveis físicas de um determinado tipo de projeto (Oliveira, 1990).

Uma forma de estimar o custo inicial de um projeto de hidroeletricidade é mediante a utilização de curvas ou funções paramétricas de custo. Estas permitem calcular, preliminarmente, o valor total do projeto em função das características básicas do projeto como turbina, a qual terá um custo maior para uma potência maior, e como esta potência é diretamente proporcional à vazão e altura de queda, o preço deste equipamento, também deveria variar proporcionalmente a estes parâmetros (Veja, 2009).

A utilização de curvas paramétricas de custo permite avaliar, de forma preliminar, o custo de implantação de um aproveitamento hidrelétrico e comparar diferentes alternativas com o objetivo de escolher a opção economicamente mais atrativa (Canales, 2008).

Uma peculiaridade da análise de custos é que esta trabalha dados operacionais de vários tipos, tais como:

- Dados históricos;
- Dados estimados;
- Dados padronizados;
- Dados produzidos.

Há inúmeras vantagens em se fazer um estudo de estimação de custos, devido à vasta aplicação de seu produto final. Entre as principais cita-se, o uso como informação de entrada de uma gama variada de relatórios para uso gerencial.

A metodologia usada para se realizar uma estimativa de custo deve seguir algumas premissas básicas, com a finalidade de se chegar a uma eficiência dentre os padrões pré-estabelecidos, individualmente, para cada uso. Pode-se citar entre as principais regras, a necessidade de ser um documento claro, de fácil entendimento com um resultado objetivo visando à necessidade do mesmo e deve-se tratar de um documento flexível com possibilidade de revisão ao longo do tempo, o que a torna uma metodologia permanente, que servirá de base para tomada de decisões e para empreendimentos futuros. Uma estimativa trata-se de um documento permanente, sendo usado como subsídio para decisões. Assim, pode-se caracterizar tal estudo como uma ferramenta de fácil entendimento, controle e atualização (Carr, 1989).

Uma segunda característica, que deve constar em um estudo de estimativas, trata-se da consolidação e confiabilidade de seu banco de dados históricos. Este deve ser composto por dados reais e consolidados que permitam uma estimativa mais próxima da realidade, aumentando assim a confiabilidade do resultado obtido.

Outra característica importante de uma estimativa trata-se da obtenção de um resultado próximo aos resultados reais, de modo que não haja falhas na tomada de decisões. Conforme comentado anteriormente, o nível de precisão adotado é variável de acordo com o uso que se dará ao documento final.

Como mostrou Lopes (1985), os elementos que compõem os custos de projetos em fase inicial são geralmente de baixo nível de detalhamento, tendo em seu projeto informações insuficientes, tornando assim difícil a elaboração de uma estimativa minuciosa do custo do empreendimento. Entretanto, na fase de estudos iniciais são justificados os estudos de estimativas paramétricas de custos, pois neste início não se busca uma exatidão no custo e sim um custo aproximado para se guiarem as tomadas iniciais de decisão (Losso, 1995).

Segundo Heineck (1986), o custo real de um projeto não muda, seja qual for a metodologia usada para se fazer sua estimativa. Portanto, não é objetivo da estimativa obter o valor preciso de uma determinada obra, mas sim, apresentar uma aproximação na qual o custo do empreendimento esteja bem representado, com um grau de precisão aceitável para um determinado instante do projeto, em que se utilizará a informação, instante esse que seria uma fase anterior ao projeto definitivo (Losso, 1995).

A precisão de uma estimativa de custo está fortemente relacionada à quantidade e qualidade das informações disponíveis sobre o projeto em estudo. Tem-se que diferentes tipos de informações afetam a precisão dos resultados de forma diferenciada, sendo que, dados de caráter geral apresentam características mais relevantes, concentrando assim informações suficientes para a tomada de decisão (Otero,2000).

Graça e Gonçalves (1978) citam que se tem um número ótimo de atividades a serem observadas e definidas, levando-se em conta o método de estimativa adotado e a precisão do projeto, conforme apresentado na Figura 1.

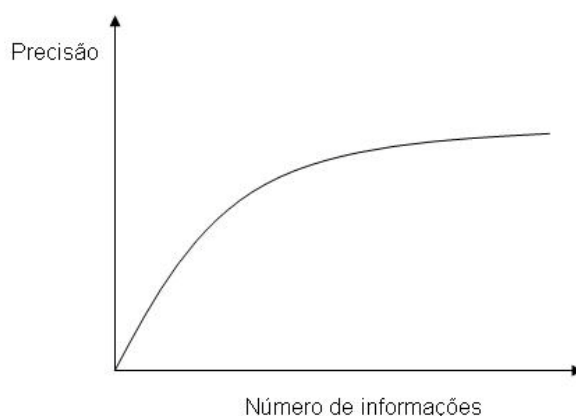


Figura 1 - Nível de informação e precisão na estimativa de custos

## 2. METODOLOGIA

Um Modelo Paramétrico é formado a partir da fragmentação do custo global do empreendimento e da definição de Relações Paramétricas de Custo, ou, em inglês, Cost Estimating Relations (CER's), que estabelece uma relação entre o custo e alguma variável relevante na composição do projeto.

Uma relação paramétrica deve ter duas características básicas: a primeira é que a relação deve apresentar alguma ligação racional à variável básica e o custo a ser obtido, ou seja, achar características no projeto as quais influenciam diretamente em seu custo, os indicadores; a segunda é que deve-se obter um forte ajustamento estatístico e um intervalo de confiança entre o custo e o elemento principal.

A análise paramétrica de custos deixa implícita a suposição de que o custo atual se relaciona com as mesmas variáveis que o afetaram no passado, ou seja, o custo no futuro dependerá das mesmas variáveis que o influenciam no presente.

As estimativas de custos criadas por meio de uma aproximação paramétrica são baseadas em dados históricos e nas expressões matemáticas que relacionam uma determinada variável dependente (custo) com variáveis independentes selecionadas (vazão, potência, etc.), descobrindo assim a variação provocada no custo com a variação das variáveis exógenas do produto em questão.

Os dados necessários para este estudo foram obtidos por meio de documentos de pequenas centrais em construção ou em operação totalizando 17 empreendimentos. Ao se trabalhar com dados de projetos reais, tem-se uma análise estatística mais consistente e próxima da realidade do projeto, o que permite estimar custos para uma avaliação inicial do empreendimento.

No que se refere aos custos dos empreendimentos do banco de dados, temos que a moeda trata-se de um elemento padronizador, a qual exerce a função de medir preços relativos de bens e serviços variados. Contudo as equivalências entre o poder de compra e as unidades de moeda sofrem alterações de acordo com a época onde é feita tal análise. Assim uma comparação monetária entre épocas distintas se torna uma comparação de grandezas não homogêneas, necessitando assim uma padronização entre grandezas de épocas distintas. Para uma melhor comparação e análise dos custos dos empreendimentos do banco de dados, o dispêndio monetário deste foi atualizado para uma mesma época, novembro de 2008, onde para tal foi utilizados o índice Nacional de Custo da Construção (INCC) para custos de construção civil e COLUNA 40 da Fundação Getúlio Vargas, para a atualização dos custos de máquinas e equipamentos.

De posse dos projetos básicos e desenhos de todos os empreendimentos selecionados para o banco de dados foram selecionados dados de ordem física e de características hidráulicas e energéticas para cada componente em estudo.

Tais componentes, ou simplesmente sistemas técnicos, foram separados de forma que se pudesse avaliar o custo geral, dividindo-se em blocos, separando assim seus direcionadores de custo de acordo com a importância deste na construção final de cada bloco.

Os blocos estudados foram:

- Tomada d'água, conduto de baixa pressão e chaminé de equilíbrio, tendo como indicadores a vazão aduzida (Q) e o comprimento do conduto (lcb)
- Barragem, tendo como indicadores o comprimento da crista (lc) e da base da barragem (lb) e sua altura (Hb).
- Conduto de alta pressão, tendo como indicadores o comprimento do conduto (lca) e a extensão vazão aduzida (Q).
- Casa de força, tendo como indicadores a potência do empreendimento (P), números de máquinas (n) e queda bruta (hb).
- Turbinas e geradores, tendo como indicadores a vazão aduzida do empreendimento (Q), números de máquinas (n) e queda bruta (hb).

Após análise de regressão onde se realizou testes estatísticos de consistência de resultados, chega-se as seguintes relações de custos para os blocos básicos.

O primeiro bloco avaliado foi conjunto composto pela Tomada d'água, conduto de baixa pressão e chaminé de equilíbrio.

$$C_{tcc} = 14,73 * L_{cb}^{0,543} * Q^{0,747}$$

Onde:

$C_{tcc}$  = Custo da tomada d'água, canal de baixa pressão e chaminé de equilíbrio ( $10^3$  R\$)

$L_{cb}$  = Comprimento do conduto ou canal de baixa pressão (m) [ $L_{CB} < 10.000$ ]

Q = Vazão aduzida ( $m^3/s$ ) [ $Q > 5 m^3/s$ ]

O segundo bloco ou sistema técnico estudado trata-se da barragem do empreendimento, previamente especificada por suas características, levando-se em conta, principalmente, seu volume. Por meio de cálculos realizados, obteve-se o volume de uma barragem hipotética, como pode ser visto na Figura 2, a qual foi usada de base para todas as variantes de formas de barragens existentes.

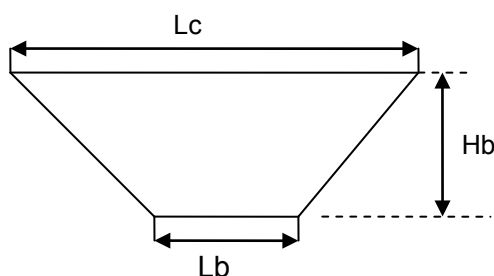


Figura 2 – Barragem hipotética

Tem-se então que a equação paramétrica de custos deste componente da seguinte forma:

$$Cb = 1101 + 0,0585V$$

Onde:

$C_b$  = Custo barragem ( $10^3$ R\$)

$$V = \frac{L_c + L_b}{2} * H_b^2 \quad (m^3)$$

$L_c$  = comprimento da crista da barragem (m) [ $L_c < 400$  m]

$L_b$  = comprimento da base da barragem (m)

$H_b$  = altura da barragem (m) [ $H_b < 50$  m]

Para se obter o custo do próximo bloco, conduto de alta pressão, tem-se a seguinte equação.

$$C_{ca} = 0,23 * L_{ca}^{1,16} * Q^{1,03}$$

Onde:

$C_{ca}$  = Custo conduto de alta pressão ( $10^3$ R\$)

$L_{ca}$  = Comprimento do conduto de alta pressão (m) [ $L_{ca} < 6500$  m]

$Q$  = Vazão aduzida ( $m^3/s$ ) [ $Q > 5$   $m^3/s$ ]

A seguir foram feitos estudos para avaliar o custo da casa de força, de acordo com a queda bruta do empreendimento, número de máquinas utilizado e a potência das mesmas.

Temos a equação de custo para casa de força da seguinte forma:

$$C_{cf} = 437 * n^{1,64} * H_b^{-0,388} * P^{0,635}$$

Onde:

$C_{cf}$  = Custo casa de força ( $10^3$ R\$)

$n$  = Número de máquinas [ $n < 4$ ]

$H_b$  = Queda bruta (m) [ $H_b > 15$ m]

$P$  = Potência (Mw) [ $1$ Mw  $< P < 30$ Mw]

Para a análise de custos de turbinas e geradores foram avaliados a queda bruta do empreendimento, vazão e número de máquinas.



tem-se:

$$Ctg = 17,12 * n^{-1,07} * Hb^{0,908} * Q^{1,20}$$

Onde:

Ctg = Custo de turbinas e gerador (10<sup>3</sup>R\$)

n = Número de máquinas [n < 4]

Hb = Queda bruta (m) [Hb > 15m]

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s) [Q > 5 m<sup>3</sup>/s]

O custo total dos sistemas técnicos trata-se da soma dos custos individuais dos mesmos, sendo expresso pela seguinte expressão.

$$Custo_{ST} = Ctcc + Cb + Cca + Ccf + Ctg$$

Onde:

Custo ST = Custo total dos sistemas técnicos (10<sup>3</sup>R\$)

Ctcc = Custo da tomada d'água, conduto de baixa pressão e chaminé de equilíbrio (10<sup>3</sup>R\$)

Cb = Custo da barragem (10<sup>3</sup>R\$)

Cca = Custo conduto de alta pressão (10<sup>3</sup>R\$)

Ccf = Custo da casa de força (10<sup>3</sup>R\$)

Ctg = Custo de turbina e gerador (10<sup>3</sup>R\$)

Vale salientar que todos os custos acima calculados são referentes à data de novembro de 2008. Para custos acima desta data, faz-se a atualização da seguinte maneira, mostrada a seguir:

$$Custo_{st} = Cx * \left( 1 + \frac{Id}{100} \right)$$

Onde:

Custo<sub>st</sub> = Custo do sistema técnico na data a qual se deseja calcular

Cx = Custo inicial calculado do sistema técnico que se deseja calcular

Id = Índice IPA (OG) COL 40 FGV ou índice INCC acumulado de novembro de 2008 ate a data a qual se deseja o valor.

Para os demais custos foram estipulados percentuais da soma totais destes blocos, sendo estes os custos indiretos e custos ambientais.

Custos Indiretos	Percentual
Construção do canteiro e acampamento	5%
Operação e manutenção de cant./acamp.	3%
Engenharia básica	5%
Serviços especiais de engenharia	1%
Administração do proprietário	10%
Custos ambientais	2 %
Outros custos	15%

Para o estudo de custos de pequenas centrais hidrelétricas são vários os parâmetros e características que podem acarretar em uma diferença entre custos de empreendimentos similares. Entre os parâmetros e características que podem vir a influenciar em tais distorções, tais dados se caracterizam por serem características obtidas em uma fase posterior do projeto, não disponível na fase de projeto, a qual tais equações estudadas, neste trabalho, se enquadram. Pode-se citar o volume de escavação usada na obra civil, como um dos destoantes do resultado, outras características que podem vir a afetar o resultado são as possíveis mudanças e adequações de estruturas para uma melhora na estabilidade da obra e uma possível adequação da estrutura para a geologia local, o que acarreta em custos adicionais levando a certas incertezas na análise.

Em equações paramétricas de custo, em que há uma gama diversa de empreendimentos e características, torna-se complexo determinar o valor de erro de cada equação. Solucionase então essa incerteza gerando zonas de valores, ou seja, geram-se cenários de cálculo.

Para este trabalho os cenários foram criados a partir dos intervalos de confiança obtidos a partir da regressão de cada sistema técnico, gerando assim curvas no limite de 95% de confiança superior e inferior, levando-se em conta os resíduos da regressão, em suma pode-se dizer que, tais limites se ajustam a condições geológicas e variações de terras compradas, cobrindo assim hipóteses variadas no incremento ou decréscimo dos custos unitários e possíveis variações estruturais imprevistas da obra.

Tais cenários de cálculos podem ser chamados de cenário baixo (-), usual e alto (+). As equações referentes aos cenários para cada sistema técnico estudado são mostradas a seguir.

$$C_{tcc+} = 36,5 * L_{cb}^{0,49} * Q^{0,695}$$

$$C_{tcc-} = 5,9 * L_{cb}^{0,595} * Q^{0,799}$$

$$C_{b+} = 1835 + 0,0656V$$

$$C_{b-} = 367 + 0,0514V$$

$$C_{ca+} = 0,47 * L_{ca}^{1,14} * Q^{0,96}$$

$$Cca- = 0,11 * Lca^{1,17} * Q^{1,1}$$

$$Ccf+ = 780,6 * n^{1,53} * Hb^{-0,397} * P^{0,602}$$

$$Ccf- = 249,6 * n^{1,76} * Hb^{-0,379} * P^{0,668}$$

$$Ctg+ = 21,5 * n^{-1,1} * Hb^{0,896} * Q^{1,19}$$

$$Ctg- = 13,6 * n^{-1,04} * Hb^{0,92} * Q^{1,21}$$

A composição final dos custos paramétricos de pequenas centrais hidrelétricas trata-se da soma de todos os custos calculados acima, sendo estes, dos sistemas técnicos, ambientais e indiretos, sendo gerido pela fórmula mostrada a seguir.

$$\text{Custo FPCH} = \text{Custos ST} + \text{Custos Amb.} + \text{Custos Ind.} + \text{Outros custos}$$

Onde:

Custos FPCH = Custo Final da Pequena Central Hidrelétrica (10<sup>3</sup>R\$)

Custos ST = Custos dos Sistemas Técnicos (10<sup>3</sup>R\$)

Custos Amb. = Custos Ambientais (10<sup>3</sup>R\$)

Custos Ind. = Custos Indiretos (10<sup>3</sup>R\$).

Vale salientar que os juros durante a construção não foram calculados nem tão pouco inseridos no custo final obtido por este estudo, devendo estes custos serem inseridos pelo investidor de acordo com o custo aqui obtido.

Após todo estudo de composição e análise de custos com a composição final da equação dos custos de uma PCH para melhor avaliar a validade das equações paramétricas obtidas, foram feitos estudos de caso para vários empreendimentos em estudo e análise na empresa IX Consultoria e, posteriormente, uma comparação de custo final obtido pela empresa por meio da metodologia ELETROBRAS.

Foram selecionadas para esta simulação oito usinas com características semelhantes. A seguir vê-se os resultados para os cenários baixo (FC-) e alto (FC+) e para o cenário base (FC usual).

PCH / Cenário	FC usual	FC-	FC+	OPE	%
AHE 1	R\$ 41.728,84	R\$ 30.798,52	R\$ 55.170,92	R\$ 40.128,00	4%
AHE2	R\$ 41.663,14	R\$ 30.305,21	R\$ 55.578,99	R\$ 43.790,00	-5%
AHE 3	R\$ 40.066,47	R\$ 31.285,79	R\$ 50.614,85	R\$ 31.549,00	-1%
AHE 4	R\$ 15.942,89	R\$ 12.716,63	R\$ 19.483,43	R\$ 15.480,00	3%
AHE 5	R\$ 19.192,06	R\$ 14.430,39	R\$ 25.038,39	R\$ 16.392,00	-12%
AHE 6	R\$ 13.855,67	R\$ 10.375,27	R\$ 18.042,14	R\$ 12.449,00	11%
AHE 7	R\$ 10.785,73	R\$ 7.742,89	R\$ 14.572,72	R\$ 13.494,00	8%
AHE 8	R\$ 12.048,17	R\$ 7.864,28	R\$ 17.595,78	R\$ 16.233,00	8%
AHE 9	R\$ 17.283,75	R 13.705,47	R\$ 22.325,36	R\$ 15.720,00	10%
AHE 10	R\$ 6.500,91	R\$ 4.026,24	R\$ 9.608,04	R\$ 10.262,00	-6%
AHE 11	R\$ 30.357,19	R\$ 22.323,77	R\$ 40.454,66	R\$ 26.501,00	15%
AHE 12	R\$ 24.096,29	R\$ 16.976,20	R\$ 33.350,52	R\$ 25.703,00	-6%
AHE 13	R\$ 18.511,21	R\$ 12.497,16	R\$ 26.335,25	R\$ 17.113,00	8%
AHE 14	R\$ 21.287,28	R\$ 13.463,06	R\$ 29.000,90	R\$ 23.023,00	-8%

### 3. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos e sua respectiva comparação com o modelo utilizado seguindo normas da OPE ELETROBRÁS, constata-se um grande nível de acerto levando assim a adequação do método aqui proposto.

A grande diversidade de projetos, características geológicas e da pouca disponibilidade de material, a aquisição de extensos lotes de terra, podem ser fatores que levam a certa disparidade entre o custo parametrizado e o custo real do empreendimento.

Uma grande dificuldade observada para a realização deste trabalho trata-se da disponibilidade de dados de custos e características de usinas em operação ou mesmo em construção.

O cálculo de custo das estruturas de tomada d'água, conduto adutor de baixa pressão e chaminé de equilíbrio foram calculados em conjunto, isto se deve ao fato de tais estruturas dependerem das mesmas variáveis como a vazão e no caso do conduto, de seu comprimento. Para este conjunto a variável de maior influencia no custo trata-se da vazão, que vai ser determinante no calculo do raio do conduto e nas especificações da tomada d'água e da chaminé, como o tamanho de ambos e da circunferência da chaminé. O comprimento do conduto tem influencia direta na quantidade de ferragem e escavação utilizada o que afeta seu custo diretamente.

Portanto, a equação obtida a qual cobre custos de obra civil e também de obras ligadas a geologia do local, explica 79% dos resultados obtidos na regressão, levando assim a uma boa adequação da fórmula utilizada.

Para o custo de barragem, devido à grande diversidade de formas e estruturas foi elaborada uma estrutura de forma padrão em que se elevam todas as formas a uma só, equalizando os diferentes tipos de estrutura para obtenção de seu volume. De acordo com a regressão foram explicados 78 % dos eventos, sendo uma boa faixa de segurança para o estudo. As principais características que afetam os custos de barragens são o seu volume e a quantidade de escavação para a construção da mesma. De acordo com os resultados obtidos, pode-se considerar a fórmula paramétrica como aceitável, pois interpreta bem o custo da mesma.

A equação de custo do conduto de alta pressão segue dois aspectos importantes, a vazão, o qual especifica seu diâmetro e seu comprimento, tendo assim espelhado a quantidade de escavação referente a este item. De acordo com a regressão feita, explica-se 74 % dos eventos, tornando assim viável a utilização da fórmula para o cálculo do custo de condutos de alta pressão.

A equação de custos de casa de força leva em consideração a potência e a queda bruta do empreendimento. Isto se deve ao fato de que o volume e tamanho das máquinas no interior da casa de força ser diretamente ligados a estas variáveis, onde quanto maior a queda menor o volume das turbinas, influenciando assim no tamanho da estrutura. A equação obtida neste estudo explica 81,8% da variação do banco de dados, dando assim, uma boa segurança na obtenção de seu custo.

Para a equação de turbinas e geradores, tem-se o custo ligado com a vazão, número de máquinas e a queda bruta, as características ligadas à vazão e à queda bruta seguem a mesma teoria da casa de força, onde turbinas de queda mais baixa tendem a serem mais caras devido a terem uma estrutura mais complexa e de maior volume. O número de máquinas se deve a divisão de potências em duas ou mais máquinas, o que afeta seu preço. A equação deste sistema gerador e turbina, explica uma variação de 97,4% da dependência entre estes itens e o custo de turbinas e geradores do banco de dados, o que tende a ser uma ótima relação.

Com relação a outros custos e custos ambientais foram analisados os mesmos empreendimentos, chegando-se a uma relação de porcentagem referente a estes e ao custo dos sistemas técnicos. Para a relação de custos indiretos referentes às usinas usam-se porcentagens sobre os custos de sistemas técnicos, tais porcentagens seguem os valores propostos pela OPE ELETROBRAS.

Para uma análise de consistência da metodologia, aqui estudada, foram feitas comparações de diversos empreendimentos com custos calculados pelas equações descritas acima e com a planilha OPE ELETROBRÁS. Por meio desta análise se constata a viabilidade da metodologia, aqui proposta, com erros dentro da margem dos cenários, lembrando que a planilha ELETROBRÁS, também, trata de um estudo prévio, não sendo a realidade do custo das usinas e sim um indicador cabível de erro.

A confiabilidade das equações paramétricas se mostrou adequada e dentro dos padrões esperados de erro, o que vem a estruturar e consolidar a metodologia proposta trazendo uma ferramenta de fácil entendimento e uso trazendo ao usuário uma economia não só na

construção com a escolha do arranjo mais viável economicamente mais também de tempo mostrando já nas etapas iniciais do projeto as pequenas centrais hidrelétricas mais viáveis.

O custo de uma PCH em sua grande maioria é composto por sua obra civil, sendo esta considerada de grande porte, como por exemplo, barragem, condutos e pelo custo de maquinário. Deve-se salientar também que a influência do arranjo e a concepção geológica do local afetam de forma significativa o custo de uma central.

#### 4. BIBLIOGRAFIA

CANALES, Fausto A., BELUCO, Alexandre, **CURVAS PARAMÉTRICAS DE CUSTO PARA MINI CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NA NICARÁGUA**, Belo Horizonte, 2009.

CARR, Robert I.. *Cost-Estimating Principles*. In: **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 115, no. 4, ps. 545-551. American Society of Civil Engineers (ASCE), dez.1989.

GRAÇA, Moacyr E. A.; GONÇALVES, Orestes M. **Estimação probabilística de custos – Método simplificado**. Simpósio sobre Barateamento da Construção Habitacional. Trabalho n. 50. Salvador, mar.,1978

HEINECK, Luiz Fernando M. **Modelagem de Custos na Construção por Meio de Unidades Funcionais – Subsídios para Reavaliação da NB-140**, proposta de trabalho. Porto Alegre,1986. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LOPES, Francisco L. (Francisco Lafaiete). **A medida da inflação no Brasil**. PUC, Departamento de Economia, 1985.

LOSSO, Iseu Reichmann. **Utilização das Características Geométricas da Edificação na Elaboração de Estimativas Preliminares de Custos: Estudo de Caso em uma Empresa de Construção**, dissertação de mestrado. Florianópolis (SC), Universidade Federal de Santa Catarina, ago. 1995.

OLIVEIRA, Miriam. **Caracterização de prédios habitacionais de Porto Alegre através de variáveis geométricas – uma proposta à partir das técnicas de estimativas preliminares de custo**. Porto Alegre, 1990. 125p. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OTERO, Juliano Araújo. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativas de custo na construção de edifícios: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade**. Florianópolis, 2000. 214p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

Magalhães, Ricardo N. **Estimação de custos de pequenas centrais hidrelétricas**, Itajubá, 2009, 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá.

Veja, Fausto A.C.; Mendes, Carlos A.B; Beluco, Alexandre – **Curvas de custo de implementação de pequenos projetos hidrelétricos em função da produção média anual de energia.** 2009.