

NOTA TÉCNICA

CRITÉRIOS PARA O ENQUADRAMENTO DE APROVEITAMENTOS ENERGÉTICOS COMO PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.

I - INTRODUÇÃO

Considerando a importância de previamente se estabelecer critérios adequados, objetivos e transparentes para o enquadramento como pequena central hidrelétrica, especialmente nos caso de reservatório com área superior a 3 km², demandou-se a preparação de proposta de regulamento, envolvendo as diversas superintendências da ANEEL afins ao assunto. Concluídos os trabalhos, entendeu-se que os resultados deveriam ser submetidos a Audiência Pública, afim de aperfeiçoá-los e conferir transparência aos agentes e sociedade como um todo. Esta nota técnica tem por objetivo apresentar os fundamentos e metodologias empregadas pelo corpo técnico da ANEEL para chegar aos resultados explicitados na minuta de resolução ora submetida à audiência pública.

II - CRITÉRIOS VIGENTES PARA O ENQUADRAMENTO COMO PCH

Como referência inicial para nossa análise, entendeu-se conveniente rever quais são os regulamentos vigentes e sua fundamentação a época. Trata-se essencialmente de dois instrumentos, cujos trechos estão reescritos a seguir.

a) Art. 26 da Lei 9.427, de 26/12/96, alterado pelo art. 4º da Lei 9648, de 27/05/98

"I -Aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente ou auto-produção, mantidas as características de pequena central hidrelétrica"

b) Resolução Aneel nº 394, de 04/12/98.

"Art. 2º Empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², serão considerados como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas.

.....

Art. 3º O empreendimento que não atender a condição de área máxima inundada poderá, consideradas as especificidades regionais, ser também enquadrado na condição de pequena central hidrelétrica, desde que deliberado pela Diretoria da Aneel, com base em parecer técnico, que contemple, entre outros, aspectos econômicos e sócio-ambientais."

Conforme relatório constante no processo 48500.004076/98-22, relativo a fixação das características de PCH, os fundamentos para as definições contidas na Resolução 394/98, foi, essencialmente, de que a maioria (cerca de 65 %) das centrais enquadradas como PCH's em território nacional, possuem área inundada inferior ou igual a 3,0 km².

III - MOTIVAÇÃO PARA UMA COMPLEMENTAÇÃO AOS REGULAMENTOS VIGENTES.

Em linhas gerais coloca-se os seguintes pontos como motivação para uma complementação dos critérios de enquadramento vigentes.

- estrangulamento na utilização do potencial hidráulico e desdobramento em aproveitamentos menores que prejudicam o aproveitamento hidráulico ótimo, em função do limite de 3,0 km².
- sujeição ao subjetivismo, nos casos de solicitação de enquadramento de empreendimentos com área inundada superior a 3, 0 km² , uma vez que não esta explicito os critérios para estes casos previstos na Resolução 394/98.

Conforme levantamento efetuado pela SCG, encontra-se pendente por definição quanto ao enquadramento como PCH, quantidade expressiva de empreendimentos.

Além das motivações apresentadas, é fundamental o entendimento antecipado dos agentes de quais aproveitamentos conferem benefícios, permitindo assim melhor precisão em sua análise econômica e maior celeridade na expansão da oferta de energia por esses empreendimentos.

IV - ANÁLISE

a) Características regionais

Com base no mesmo banco de dados utilizado para instruir a Resolução 394/98, ou seja PCH's em operação em maio de 1998, e analisando estatisticamente a área inundada dos reservatórios de PCH's, é possível identificar tendências regionais, conforme tabela abaixo, com as médias, por região, da área inundada por PCH.

	Área Inundada [km ²]
NORTE	15,61
NORDESTE	30,75
CENTRO-OESTE	6,01
SUDESTE	3,78
SUL	3,95
BRASIL	6,05

Com o mesmo banco de dados e critério empregado para a definição de 3,0 km², na resolução Aneel nº 394/98, ou seja 65 % de ocorrência, obteve-se os valores diferenciados a seguir. Outro trabalho identifica as mesmas tendências regionais (Nascimento, 1999)¹

	Área Inundada [km ²]
NORTE	13,13
NORDESTE	12,50
CENTRO-OESTE	3,00
SUDESTE	2,08
SUL	1,58
BRASIL	3,00

¹ Nascimento, J.G. A., *Considerações sobre Incentivos Regulatórios à Geração Descentralizada de Energia Elétrica no Brasil*, Dissertação de Mestrado, Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI, Itajubá, 1999.

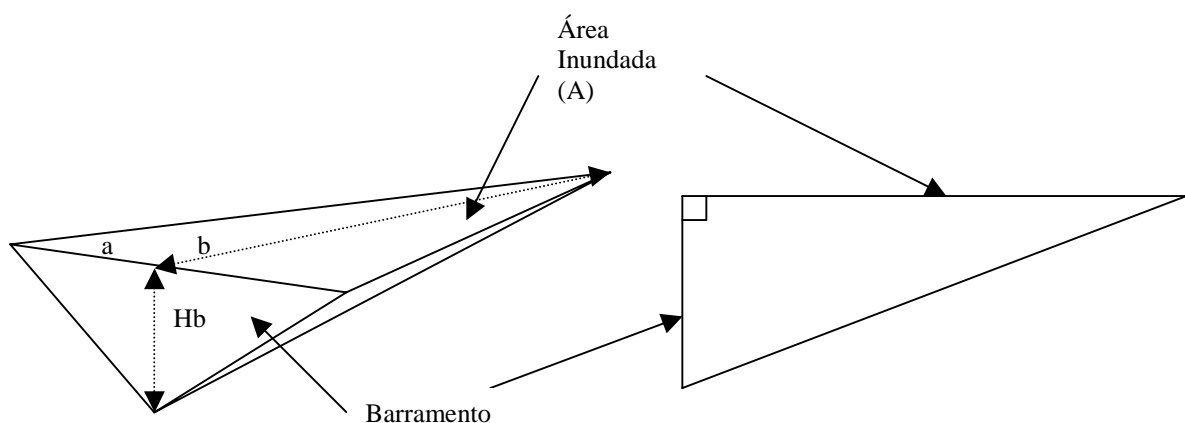
Considerando as tabelas, fica evidente a necessidade de consideração dos aspectos regionais. De fato os dados conduzem à médias com tendências regionais facilmente identificáveis, mas com elevada variância e difícil tratamento para regiões de fronteira e singularidades locais. Apenas para exemplificar a dificuldade no estabelecimento de índices ou referências regionais, consideremos um fator importante na determinação das dimensões e arranjo de um PCH que é a topografia local. Para uma mesma região ou bacia hidrográfica, podem conviver áreas serranas e de planície, com topografias completamente distinta, apesar de existir um tendência geral para a região ou bacia. Isso é facilmente identificado analisando o banco de dados, já com as centrais agrupadas por região ou bacia.

O limite de 3 km² como limite incondicional para o enquadramento demonstra-se factível face as estatísticas nacionais e a importância da área inundada como variável de caracterização do pequeno aproveitamento. Mas o estabelecimento de limites de área inundada regionais, ou por bacia hidrográfica, para adequar-se ao fato de que peculiaridades dos empreendimentos podem justificar área inundada maior que 3,0 km², não demonstrou-se alternativa racional (uma das razões de ter atribuído, à época, como poder discricionário da Agência). Percebeu-se maior racionalidade no estabelecimento de limite superior de área de 13 km², correspondente ao maior valor regional conforme o mesmo critério que resultou no limite de 3,0 km² em nível nacional, a fim de permitir o enquadramento de centrais com tendências justificáveis (de diversas origens) para maiores inundações, condicionado, contudo, a presença de fato dessas características, consideradas ainda de forma proporcional a sua intensidade. Neste sentido, procurou-se identificar índices, com base na relação de variáveis de relevância para a caracterização de um aproveitamento, os quais permitissem trazer implicitamente as peculiaridades dos empreendimentos que justifiquem excepcionalidade à regra geral.

Uma observação importante é a respeito da elevada média de áreas inundadas para os aproveitamentos da Região Nordeste. Apesar de valores mais factíveis, quanto analisada a permanência de 65 %, a média apresenta-se sobremaneira elevada devido a existência de alguns aproveitamentos no nordeste cujo os reservatórios possuem uso múltiplo, notoriamente para regularização do abastecimento humano, sendo a exploração energética objetivo apenas secundário. Esses casos não devem ser considerados para construção de uma regra geral, mas indicam a necessidade de análise especial. Sugere-se tratamento excepcional para esses casos, desde que fique claro o aspecto secundário ou marginal do objetivo de exploração energética e que esse não tenha influído nas dimensões do reservatório.

b) Indicadores de características de pequeno aproveitamento

O volume de um reservatório pode ser entendido, de forma simplificada, como uma pirâmide com base triangular e ortogonal à um dos lados, de acordo com a representação a seguir.



Na simplificação, o ângulo entre os lados e entre esses e a base (barramento), significam as inclinações da topografia local e podem ser tais que representem fielmente o volume real do reservatório e pode-se demonstrar que o volume da pirâmide é dado por:

$$V = \frac{H_b \times a \times b}{6} = \frac{H_b \times A}{3}$$

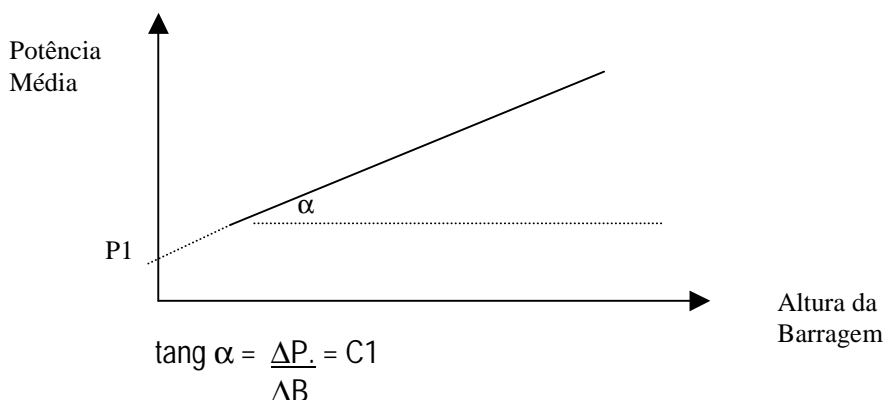
Uma observação importante neste contexto é de que a área inundada (A) é função da altura da barragem (H_b) e da topografia local e considerando a equação acima o volume também é função das mesmas variáveis: $V = f(H_b, \text{topografia})$.

As dimensões de um reservatório para fins de um aproveitamento hidrelétrico, podem ser determinadas essencialmente pelas seguintes razões:

- (i) permitir a tomada d'água
- (ii) ampliar (ou de fato proporcionar) a queda bruta do aproveitamento
- (iii) proporcionar regularização de vazão, ou
- (iv) uma combinação das anteriores.

O caso de PCH's cujo reservatório tem função apenas de permitir a tomada d'água (i), sem qualquer objetivo de regularização (central a fio d'água), não deve representar condição de fronteira, quanto à área inundada, nos critérios de enquadramento, possuindo naturalmente reduzidas alturas de barragem e áreas inundadas, ainda que em região de topografia desfavorável. Este é o tipo de central, normalmente de desvio e sem capacidade de regularização e que facilmente o enquadramento como PCH pode ser fundamentado, face as características naturalmente associadas. A limitação para o enquadramento nesse caso, deverá ser definida com base em limite de altura de barragem. Com base no banco de dados e critérios anteriores de enquadramento, sugere-se que com altura de barragem de até 10 m seja considerado apenas limite superior de área inundada (13 km²), permitindo assim a consideração implícita das características locais.

No segundo caso (ii), a altura da barragem e, por conseqüência, a área inundada são resultantes de um objetivo de ampliação de queda. Neste sentido, existirá, para um mesmo empreendimento, uma relação, praticamente linear e retilínea, entre a potência elétrica e a altura da barragem. Considerando que para determinado empreendimento, a área inundada é função da altura da barragem, poderá se estabelecer uma função crescente que relacione a potência média e a área inundada. E, nesse caso, já não demonstra-se racional incorporar isenção da topografia local, ou seja, permitir o enquadramento com grandes áreas inundadas, pequenas potências, nos casos de reduzidas vazões em locais com topografias desfavoráveis. Deve-se, portanto, buscar limitador para a área inundada, definido por máxima relação entre potência e altura da barragem. Em outras palavras definir mínima inclinação (α) do gráfico a seguir, onde pode ser factível permanecer os benefícios ou manter estímulo ao alagamento de mais terras para ampliar o aproveitamento energético.



Onde: P= ganho de potência; ΔB = variação da altura da barragem responsável pelo ganho de potência e C1=constante a ser definida com base em dados estatísticos.

Como pode se ter situação híbrida em que o desnível hidráulico é obtido cumulativamente pelo desvio do rio e pela elevação do nível de montante com o barramento ($P1 > 0$), e analisando a figura, pode se simplificar a equação para:

$$\frac{(P-P1)}{\Delta B} = C1$$

Mas, $P = K \times Q \times Hb$ e $P1 = K \times Q \times (Hb - B)$.

Onde K é uma constante dimensional, Q é a vazão, Hb a queda bruta e B a altura da barragem

$$\text{Então: } P - P1 = K \times Q \times Hb = \frac{P \times B}{DH}$$

E substituindo:

$$\frac{(P \times B)}{Hb \times B} = C1$$

Portanto:

$$\frac{P}{Hb} = C1$$

Desta forma, a máxima área inundada poderá ser definida de maneira proporcional a constante C1. Do banco de dados de PCH, a máxima constante C1 (diretamente proporcional a vazão) encontrada foi de 0,909. Vinculando esta constante à condição limite de enquadramento, ou seja área inundada de 13 km², resultará:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{Hb} \quad (1)$$

No terceiro caso (iii) o efeito desejado para o reservatório é o de regularização de vazões. Devido às maiores regularização de vazões, não serem, por definição, aplicáveis à PCH's, trata-se de uma condição importante para a definição de fronteiras para o enquadramento. Neste sentido é fundamental investigar as relações entre volume útil e demais variáveis afetas a caracterização do aproveitamento. O volume útil, para efeito de regulação, é resultado da subtração do volume morto, definido por razões de assoreamento, restrições operativas, ambientais e de uso múltiplo, e o volume de espera, definido por segurança. Para reduzidas faixas de variação do nível do reservatório, como é em geral o caso de PCH's, o volume útil é proporcional a área inundada e a variação de normal de nível ou deplecionamento (Δh), conforme expressão a seguir.

$$Vu \sim A \times \Delta h \quad (2)$$

A definição do volume útil necessário para a regularização de determinado curso d'água depende de estudos hidrológicos detalhados. Via de regra o volume útil é função da vazão média e de índice de regularização natural do curso d'água, que chamaremos de (I). Assim teremos:

$$Vu \sim Q \text{ média} \times I \quad (3)$$

E substituindo (3) em (2):

$$A \times \Delta h \sim Q \text{ média} \times I \quad (4)$$

A potência instalada de um aproveitamento hidrelétrico é definida com base em características técnicas do empreendimento como queda, vazão, seu regime e capacidade de regularização do reservatório, mas também para aspectos econômicos e de mercado. A pesar da complexidade de fatores envolvidos na definição da potência instalada, inclusive de natureza econômica de difícil parametrização em caráter geral, esta variável está vinculada à vazão média e a um índice de regularização (natural e do reservatório) que chamaremos neste caso de (I').

$$P \sim Q \text{ média} \times Hb \times I'$$

Portanto pode-se dizer que:

$$Q \text{ média} \sim \frac{P}{Hb \times I'} \quad (5)$$

E substituindo (5) em (4), resulta:

$$A \times \Delta h \sim \frac{P \times I}{Hb \times I'} \quad (6)$$

Admitindo a relação (I/I'), função de características hidrológicas locais, incorporada em C2, tem-se:

$$A \leq \frac{C2 \times P}{Hb \times \Delta h}$$

Resta estabelecer C2 que é função do regime hidrológico local. Admitindo regularização diária, tem-se $Vu / Q \text{ média} = 200$ horas (Souza, 1999)² e considerando rendimento global de 90%, resulta:

$$C2 = 78$$

Obviamente o valor de C2 é função do regime hidrológico local e dos critérios empregados para a determinar a potência instalada. Desta forma, visando analisar a consistência do valor obtido, identificou-se a pior e melhor condição hidrológica (maior variância) verificada nas PCH's dos bancos de dados. Transferindo estas condições para central hipotética com área inundada de 13 km², com potência de 30 MW, queda de 30 e deplecionamento de 6 metros, obteve-se regularização diária e semanal,

² Sousa, Z. et alli, *Centrais Hidrelétricas - Estudos para Implantação*, ELETROBRÀS, Rio de Janeiro, 1999.

respectivamente para a pior e melhor condição, convalidando o resultado relativamente à premissa de reduzida regularização para PCH's.

Portanto:

$$A \leq \frac{78 \times P}{H_b \times \Delta h} \quad (7)$$

Num caso geral teremos uma combinação das razões para o dimensionamento do reservatório (iv). Nesse caso é importante notar que quando existe objetivo de ampliação de queda, de regularização ou de ambos, o critério de tomada d'água dificilmente será o fator determinante. Desta forma, o critério de enquadramento por altura de barragem (até 10 m) deverá ser empregado de maneira independente dos demais. Quanto aos critérios de máximo aumento de queda e máxima regularização já verifica-se necessário o atendimento simultâneo de ambos. Contudo, salienta-se que como raramente Δh será superior a 5,4 m, a condição de área inundada de máxima regularização permitida (7), normalmente superará a condição associada a máxima queda proporcionada pelo barramento (1). Desta forma, pode-se dispensar a inequação (7) em detrimento da (1), quando Δh for inferior a 5,4 m.

V - CONCLUSÃO

Com base nas análises efetuadas, foram propostos os seguintes critérios para o enquadramento como PCH:

a) Potência instalada: de 1 a 30 MW

b) Exploração na modalidade de produção independente ou auto-produção

c) Área inundada à montante do barramento³

- menor ou igual a 3 km² - incondicional

- maior que 3 km² e menor ou igual a 13 km² - condicional ao atendimento das inequações .

Se $B \leq 10$ m, então $A \leq 13$ km².

Se $B > 10$ m, então $A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b}$; e

$$A \leq \frac{78 \times P}{H_b \times \Delta h}$$

Onde: A = área inundada à montante do barramento em (km²)³;

P = potência instalada em (MW);

B = altura máxima da barragem em (m)⁴;

H_b = queda bruta em (m)⁵;

Δh = deplecionamento ou faixa normal de operação do reservatório em (m)⁶

³ com nível d'água máximo normal de montante.

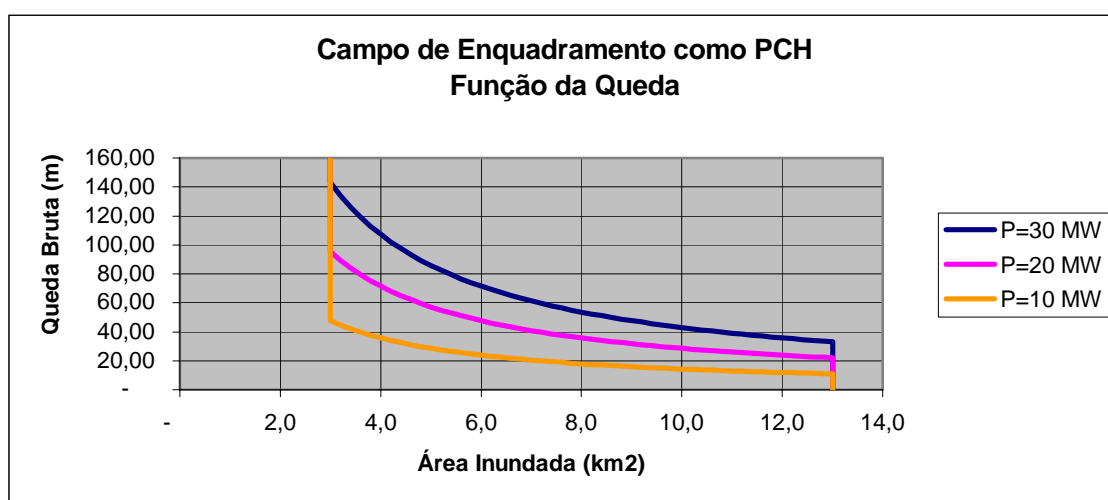
⁴ definida pela diferença entre as cotas da crista e do assentamento da fundação da barragem.

⁵ definida pela diferença entre os níveis d'água máximo normal de montante e normal da jusante.

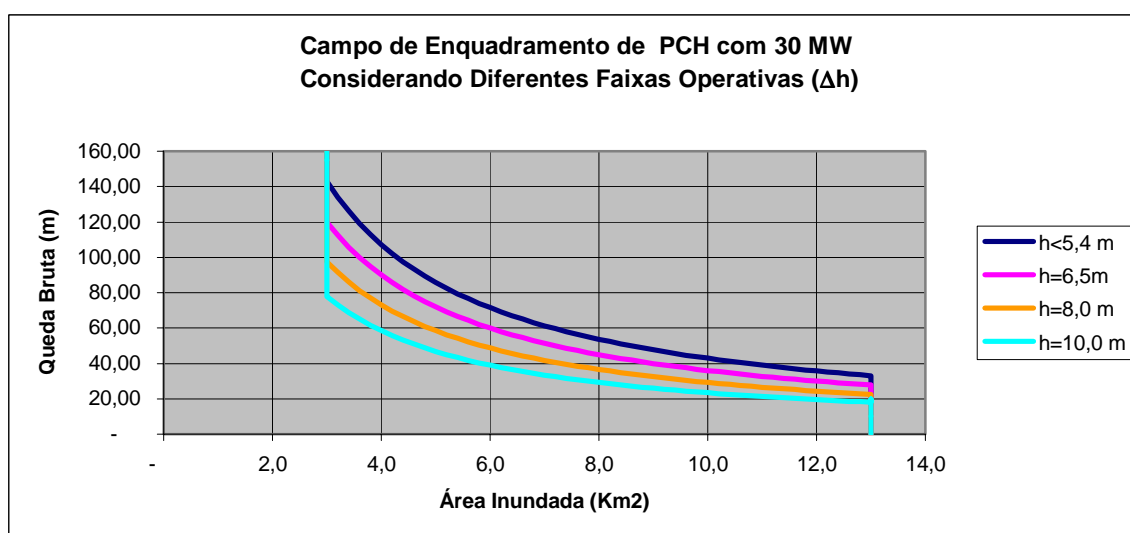
⁶ definida pela diferença entre os níveis d'água máximo e mínimo normais de montante.

- nos casos de uso múltiplo do reservatório em que, comprovadamente, o objetivo de exploração energética é marginal, não tendo influído no dimensionamento do reservatório⁷, poderá ser enquadrado como PCH o respectivo aproveitamento, de forma incondicional a área inundada.
- para centrais projetadas para sistemas isolados, a reduzida flexibilidade de mercado e conseqüentemente da potência instalada justifica tratameneto simplificado considerando apenas limite de 13,0 km² para o reservatório.

Admitindo máxima faixa operativa do reservatório (Δh) inferior a 5,4 m, o campo de enquadramento de PCH's pode ser representado pela figura a seguir.



Para avaliarmos a sensibilidade, a figura a seguir apresenta o campo de enquadramento para o caso de centrais com 30 MW, considerando diferentes amplitudes de faixa operativa (Δh) e conseqüentes condições de regularização para o aproveitamento.



⁷ sugere-se que isso seja verificado em articulação com Agência Nacional de Águas - ANA e Comitês de Bacia