



**GRUPO I
GERAÇÃO HIDRÁULICA – (GGH)**

**UMA CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA A MODERNIZAÇÃO
DE UNIDADES HIDROGERADORAS**

CÍCERO MARIANO P. SANTOS*

JORGE COELHO

ACIRES DIAS

UFPE / UFSC

UFSC

UFSC

RESUMO

A modernização de instalações de geração hidroelétrica, que apresentam índices de desempenho abaixo de níveis aceitáveis, além de uma significativa queda no item rendimento, é de extrema importância e deve ser implantada no sentido de incrementar o uso dos recursos naturais, sem impactos ambientais adicionais. Neste sentido, e objetivando a garantia da atratividade, empresas geradoras de energia elétrica devem buscar a implementação de projetos sintonizados com uma ampla modernização e o conseqüente benefício para a sociedade. São apresentados resultados de levantamento de campo realizado junto a empresas nacionais e internacionais.

PALAVRAS CHAVES

Gerador, Hidrelétrica, Matriz de Avaliação, Modernização, Turbina.

1.0 - INTRODUÇÃO

A questão maior na exploração dos recursos naturais, principalmente nos países em desenvolvimento, está centrada fundamentalmente no suprimento de água. O Brasil não está fora deste contexto. A parcela da população sem acesso às fontes de águas renováveis tende a se elevar. Isto exigirá, dos Governos Federal, Estadual e da Sociedade como um todo, esforços no sentido de garantir a esta parcela significativa da população um aumento de barragens e reservatórios projetados com múltiplos propósitos, assegurando assim o desenvolvimento planejado e racional das regiões.

A geração hidrelétrica representa mais de 90% da produção total de energia elétrica no Brasil, e apresenta-se particularmente atrativa para ser inserida num programa de modernização.

A recapacitação e reabilitação de UHE, consideradas velhas, no cenário que se apresenta, estão acompanhadas de uma série de atividades que em conformidade com análises da relação custo/ benefício permitirão a incorporação de novas técnicas de reprojeto e reconstrução, com beneficiamento de componentes, sistemas e a reentrada em operação com produtividade bem mais próxima de equipamentos modernos.

Este artigo apresenta, dentro de uma visão global, oportunidades e considerações a serem feitas no sentido de estimular o ingresso estratégico de empresas geradoras de energia elétrica num programa que incorpore tais evoluções e melhorias.

2.0 A RECAPACITAÇÃO E MODERNIZAÇÃO - R&M

Dentre as alternativas gerenciais disponíveis, para o adequado retorno do investimento em Usinas Hidroelétricas, pode-se destacar as seguintes [5]:

- Manutenção
- Modernização
- Redesenvolvimento
- Desativação

Manutenção, estabelece uma estratégia que consiste em manter a Usina ou Instalação em operação nas

condições previstas no projeto original, através de inspeções, reparos ou substituições de componentes, que garantam as características originalmente previstas.

Modernização, estabelece uma estratégia em que usinas antigas possam se tornar mais produtivas e eficientes, através de ações de recondicionamento, atualizações tecnológicas e, onde aplicável, elevação da capacidade nominal de componentes com idade avançada assim como a garantia da extensão de vida útil.

Redesenvolvimento, estabelece uma estratégia que envolve a implantação de um novo empreendimento, associado às facilidades de expandir ou substituir um projeto antigo.

Desativação, estabelece uma estratégia que envolve as possibilidades de retirada de serviço, objetivando ações que previnam futuros e elevados custos de manutenção.

As ações que envolvem estratégias dentro da Manutenção e Modernização serão neste trabalho resumidamente chamadas de Recapitação e Modernização-R&M. Sabe-se no entanto, que a R&M é possível através de um adequado monitoramento das instalações e equipamentos em operação, bem como, da inserção de avanços tecnológicos, objetivando uma elevação dos índices de produtividade e disponibilidade da instalação.

A estratégia da desativação poderá ocorrer em função de razões como:

- O uso da água por uma decisão superior poderá passar a ocorrer de forma mais diversificada, atendendo a outros propósitos.
- O perfil de produção da usina não atende da forma desejada as necessidades do sistema eletroenergético, p/ex.: insuficiente geração de energia firme e um excesso de energia sazonal ou secundária coincidente com a correspondente de outras fontes dominantes do sistema .
- Deterioração/desgaste de estruturas, instalações civis e hidráulicas a níveis extremos que torne inviável a execução de medidas reparadoras, sob a ótica do custo/benefício e da oportunidade econômica – financeira.

A questão principal, no tocante às ações de R&M, considerando o tempo de vida da instalação, é definir quando a reforma ou reabilitação da mesma, ou de seus componentes principais, torna-se necessária. Este momento é em geral muito difícil de ser determinado, devido aos processos de deterioração e ações de recuperação verificadas ao longo da vida dos

componentes, caracterizando assim, na maioria das vezes, uma depreciação gradual em estágios, muitas vezes, não claramente definidos.

Visualiza-se através da Figura 1, onde considera-se que as ações de reparo (manutenção) não restabelecem ao sistema/componente a condição “tão bom quanto novo”, que na realidade o que ocorre é um processo de envelhecimento do equipamento ao longo do tempo, conforme é de se esperar.

Desta forma, na medida em que a intensidade das quedas de desempenho vai se agravando, a vantagem econômica da instalação sobre outras alternativas, em cima das quais a instalação foi originalmente justificada, diminui e conseqüentemente conduz o negócio a uma perda de rendimento geral.

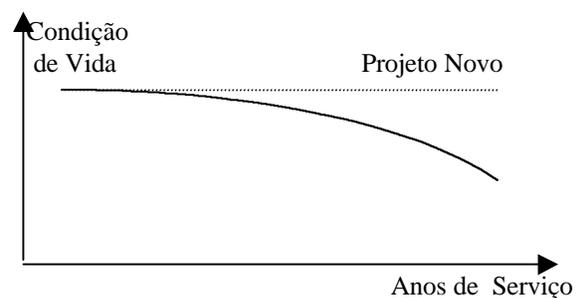


FIGURA 1 Degradação da condição de vida da unidade/instalação.

A decisão em realizar a R&M, em unidades hidrogeradoras, deve ser função de estratégias da empresa, substanciada por análises técnicas - econômicas, que por sua vez são realizadas por meio de fatores e/ou indicadores extraídos da instalação, dentro de uma visão de engenharia que considera o sistema associado como um todo e suas vizinhanças, bem como os avanços tecnológicos verificados. O processo com vistas à tomada de decisão deve ser repetido e considerar um razoável tempo de serviço da instalação, no sentido de melhor definir tendências e comportamentos.

3.0 ESTADO DA ARTE

Usinas projetadas dentro de critérios e premissas de projeto que consideram grandes distâncias, entre o centro de geração e o centro de consumo, possibilitam, quando da oportunidade da R&M, que certas exigências, adotadas quando do desenvolvimento do projeto original, sejam reavaliadas como p/ex.: a reatância de eixo direto - (x_d).

É interessante registrar a evolução verificada, nos últimos 30 anos, no fator de utilização C, definido conforme Equação 1, tendo apresentado um ganho de cerca de 40%, o qual é um indicador do

aproveitamento conseguido no projeto do gerador. Observar que no cálculo do fator C são consideradas as limitações físicas existentes.

Apresenta-se na Figura 2 um esboço do desempenho de C nas últimas décadas [5].

$$C = \frac{S}{D^2 \cdot L \cdot N} \quad \text{Eq - 1}$$

sendo: S - Potência nominal (KVA).
D - Diâmetro interno do estator (m).
L - Comprimento do núcleo do estator (m).
N - Rotação síncrona (rpm).

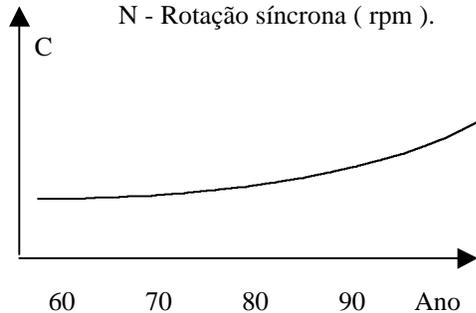


FIGURA 2 Evolução do fator de utilização – C.

Associado ainda à Figura 2 convém registrar, relativamente a avanços verificados em tecnologia dos materiais, dentro do período acima citado, e no sentido de elevar a eficiência dos geradores, a diminuição nas perdas do material magnético do núcleo, em cerca de 20%, conforme esboço apresentado na Figura 3.

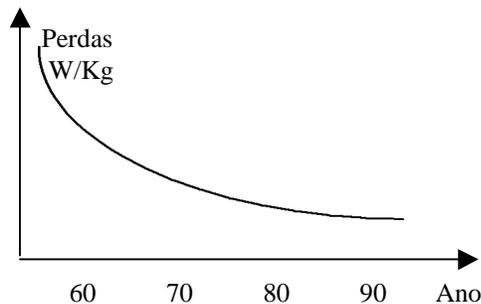


FIGURA 3 Queda das perdas dos materiais magnéticos.

Concentrando-se o foco na extensão de vida útil, ganhos em produtividade e redução de custos de Operação e Manutenção-O&M, as prioridades recaem fundamentalmente sobre a turbina e o gerador, aliados evidentemente às disponibilidades hídricas (o caso do hidrogerador), associadas por sua vez a dados atualizados das séries históricas dos rios.

Resultados práticos [3], colhidos junto aos fornecedores de equipamentos e/ou dentro do segmento hidrogerador do setor elétrico, apresentam

ganhos em potência ativa na faixa de 5 a 60% em relação à capacidade original, ver Tabela 1, decorrentes de ações tipo R&M. Isto sem que se verifique agressões adicionais significativas ao meio ambiente. A Tabela 1 apresenta fundamentalmente o reflexo da evolução do fator C esboçada na Figura 2, bem como os ganhos da Figura 3. Considera, portanto, que as premissas da parte hidráulica são todas favoráveis e atendem os ganhos citados, como sejam: volume de energia do reservatório d'água e desempenho da turbina.

Na Tabela 1 registram-se, também, resultados obtidos em decorrência da evolução nas técnicas de isolamento, aliado ao uso de materiais magnéticos com propriedades mais favoráveis a uma elevação de capacidade, para um dado volume da máquina, conforme já enfatizado anteriormente, bem como, novas técnicas de projeto, como por exemplo: nos sistemas de ventilação, usando diferentes tipos de configuração e padronagem.

4.0 UM QUADRO POTENCIAL DO PARQUE HIDROGERADOR BRASILEIRO

Com foco no hidrogerador e considerando que: “turbinas hidráulicas com mais de 25 anos de vida operam com rendimento entre 5% a 10% abaixo daquele obtido com hidráulica moderna, considerando-se as mesmas condições hidráulicas” [1], um levantamento de potencialidades pode ser realizado. Contudo, aspectos relevantes de operação e manutenção, que são agravados com o tempo de vida da instalação e/ou unidade, devem ser adequadamente analisados neste momento. Deve-se, ainda, considerar o histórico da unidade através do desempenho de itens como:

- temperatura dos enrolamentos e núcleos;
- degradação do isolamento dos enrolamentos;
- comportamento vibratório da unidade;
- problemas decorrentes de cavitação na turbina;
- dificuldades operacionais da unidade;
- diminuição entre intervalos de manutenção;
- elevação do período de tempo sob manutenção;
- elevação dos custos dos serviços.

Registre-se ainda que, conforme recomendação do EPRI (Electric Power Research Institute), deve-se considerar como aceitável um índice de disponibilidade da unidade geradora não inferior a 95% [2].

Sabe-se que a eficiência de equipamentos e instalações projetados dentro de tecnologias já ultrapassadas, aliadas ao seu envelhecimento e desgaste, comprometem as suas confiabilidade e

disponibilidade, além de colocá-los em condições de custo operacionalmente desvantajosas, determinando que tais elementos passem a ser considerados quando das análises das atividades dos novos investimentos e no sentido da R&M.

5.0 INDICADORES A CONSIDERAR

Cada usina apresenta suas características próprias, que podem ser bastante diferentes de outras usinas e também entre unidades geradoras da mesma instalação. Contudo, é importante que seja feita uma avaliação padronizada entre as diversas instalações no sentido de se obter uma posição que permita elos de comparação, possibilitando uma tomada de decisão tão segura quanto possível. Dentre um grande elenco de indicadores pode-se destacar os da Figura 4, como instrumento auxiliar à tomada de decisão.

Relativamente ao indicador **idade** é de fundamental importância considerar: registros efetuados durante a realização de inspeção detalhada por profissionais experientes, bem como o adequado monitoramento do estado da arte tecnológica, seja no que diz respeito a este indicador como para os de **produtividade, elevação da vida útil e flexibilidade de operação**.

A metodologia de avaliação das instalações/unidades geradoras, com vistas à tomada de decisão no sentido da modernização ou não, deverá adotar um certo critério de ponderação, sobre os indicadores acima citados, com pesos variando p/ex. de 1 a 10, objetivando um tratamento uniforme sobre todas as instalações, conforme apresenta-se no subitem a seguir.

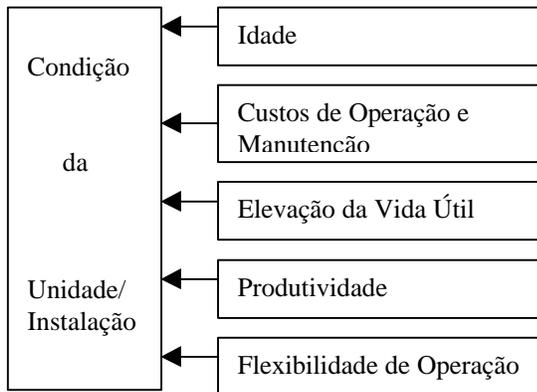


FIGURA 4 Indicadores para a tomada de decisão.

5.1-Um Modelo Centrado em Conceitos/Indicadores Ponderados

Foi enfatizado anteriormente que uma metodologia se faz necessária e esta pode ser desenvolvida, através de contribuição original, utilizando a estrutura conceitual

de uma matriz de avaliação [6], e considerando as seguintes etapas:

A- Inicialmente deve-se estabelecer um diagrama de escores, conforme Figura 5, para cada indicador, que represente tanto quanto possível o pensamento do setor (ou organização /empresa);

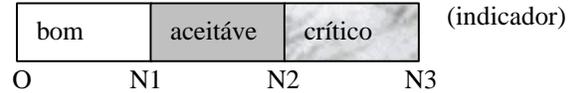


FIGURA 5 Diagrama de escore dos conceitos / indicadores

B- Os valores N1, N2, e N3 deverão ser estabelecidos em conformidade com um desempenho estatístico consistido, ou com base em estudos/experiências já aceitas (benchmarking). A título de exemplo considere-se os seguintes valores, para o indicador idade de hidrogeradores:

O = Zero ano; N1 = 25 anos; N2 = 40 anos;

Crítico > 40 anos (N3 a máquina não deve operar);

C- Efetuar a ponderação dos indicadores de acordo com a estrutura da Tabela 2 e desenvolver o acompanhamento com vistas a um plano de R&M, em conformidade com o Modelo de Gerência da Figura 6.

Na Figura 6, tem-se que: $W_j = \sum P_i * I_{ij}$, onde: W_j peso total da instalação / unidade j. Sendo: $i = 1, 2, \dots, 5$ e $j = 1, 2, \dots, n$. Onde W_p , valor estabelecido com base em princípios semelhantes aos descritos em A e B, é o somatório padrão, além do qual a instalação/unidade geradora passa a ser considerada viável de entrar num plano de R&M.

"X" é um valor que pode variar, em função de W_j , na faixa de p/ex.: 2 a 5 anos. O gerenciamento centrado em W_p (desempenho ponderado) obedece esquematicamente ao modelo da Figura 6.

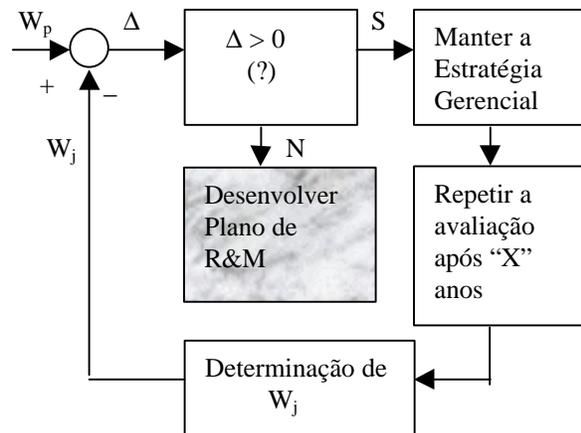


FIGURA 6 Modelo de Gerência Centrado no Desempenho Ponderado.

6.0 ATRATIVIDADES A CONSIDERAR

Para o desenvolvimento de uma análise econômica da R&M de usinas, com o objetivo de se verificar a sua atratividade frente a outras opções, para a expansão da oferta de energia elétrica, é necessário a identificação e quantificação, por exemplo, da relação custos / benefícios.

Os benefícios podem ser identificados segundo dois níveis:

- A nível de usina;
- A nível de sistema.

A nível de usina, os benefícios a serem considerados são:

- aumento na energia e potência a garantidas sem impactos ambientais e fazendo uso das estruturas civis e hidráulica já existentes;
- redução nos custos de Operação e Manutenção;
- elevar os índices de disponibilidade da unidade geradora/instalação;
- maior flexibilidade operativa em relação ao despacho de geração (faixa de operação mais larga);
- extensão de vida útil da unidade;
- automação da instalação, possibilitando uma maior integração da instalação na Organização como um todo.

A nível de sistema, os benefícios serão decorrentes da maior flexibilidade operativa das unidades geradoras recapitadas, o que possibilitará a otimização energética do despacho do sistema de geração, resultando em ganhos adicionais de energia garantida para o sistema como um todo. Para a identificação desses benefícios sistêmicos é necessária a elaboração detalhada de simulações da operação energética do sistema de geração, envolvendo portanto outras usinas do sistema elétrico de potência e, dependendo do caso, de sistemas associados.

Quanto aos custos, é o resultante do trabalho realizado e daqueles atrelados a operação continuada da instalação.

7.0 COMENTÁRIOS

Verifica-se nos últimos anos uma forte atuação Governo Federal no sentido de estimular uma postura mais agressiva da população brasileira no que diz respeito ao uso racional da energia elétrica (Programa de conservação de energia elétrica - PROCEL), isto

motivado evidentemente pelo ganho a ser obtido com a diminuição do desperdício. Entretanto, verifica-se de forma quase que dominante que estas ações de conservação de energia são colocadas prioritariamente ou exclusivamente no consumo, quando na realidade devem ser igualmente colocadas ou até com mais ênfase, em casos específicos, na geração e transmissão da energia elétrica. No trabalho em foco abordou-se particularmente elementos de importância para a R&M do parque hidrogerador brasileiro, que, também, devem ser considerados importantes numa postura de conservação de energia.

Evidentemente que não credita-se ao projeto de R&M a solução plena para o atendimento do crescimento sustentado da Nação, contudo, apresenta uma considerável contribuição para tal, considerando-se, ainda, o foco do possível uso múltiplo das reservas hídricas.

É importante que os novos investimentos a serem aplicados no setor elétrico brasileiro, nas diversas segmentações que se apresentam, incorpore fortemente esta postura de aumento de produtividade e eficiência no uso dos recursos naturais.

8.0 CONCLUSÃO

A Recapitação e Modernização das instalações hidrogeradoras de energia elétrica, candidatas para tal, deve ser colocada num plano prioritário, de forma a evitar também que ações outras, aparentemente mitigadoras, desatreladas de um procedimento metodológico, conforme apresentado no artigo, venham quebrar, ainda que parcialmente, a atratividade de projetos desta magnitude, considerando-se principalmente a visão de empresa agregada ao mesmo.

O assunto deve ser tratado portanto em elevada prioridade, tanto pelos agentes exploradores como pelos agentes reguladores do uso dos recursos naturais, considerando inclusive os aspectos harmoniosos que se apresentam em relação ao meio ambiente e a sociedade como um todo.

9.0 REFERÊNCIAS

- [1]- Horodynski , Gunter H. / VOITH, “Repotenciação e reabilitação de turbinas hidráulicas”, Colóquio patrocinado pelo CEPEL , Rio de Janeiro - Brasil, novembro 1990, pag. 1-18.
- [2]- Rittenhouse , R. C. , “Upgrading : New life for hydroelectric systems” , Power Engineering , march 1988 , pp. 18-24.
- [3]- Santos, Cícero M. P. dos, “Recapitação de Componentes da Geração - Estado da Arte – Estudos

Desenvolvimentos - RT-RG-01 - Projeto Siape n° 07.01.005 - CHESF - 08/93 (trabalho interno).

[4]- Perfil do Setor de Energia Elétrica-1997 - E. M. ano XXV n° 280 - 07/97 - pp. 78 - 137.

[5]- Santos, Cícero M. P. dos, "A Modernização do Parque Hidrogerador do Nordeste do Brasil", III Congresso Latino - Americano - Geração e Transmissão de Energia - UNESP - Campos do Jordão

SP - Nov. 9-13, 1997, Vol. 1, pp 01-04.

[6]- Nelson Back, Fernando A. Forcellini, "Projeto de Produtos", Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC - 1998 - (Trabalho interno).

TABELA 1- Estado da Arte dos Geradores

Item	Projeto Original				Projeto Recapitado e Modernizado					
	Ent. em oper.	MVA	MW	FP/ Isol.	Ent. em oper.	MVA	MW	FP/ Isol.	Ganho % MW/MVA	Princ. Melho.
1	1957	70,0	63,0	0,90	*	88,0	74,8	0,85	19	A
2	1964	115,0	109,3	0,95	*	125,0	117,5	0,94	8	A
3	1960	105,0	99,8	0,95	*	115,0	115,0	1,00	15	A
4	1926	12,0	10,2	0,80	*	13,5	10,8	0,80	6	B ⁽⁺⁾
5	1925	10,0	7,0	0,75	*	12,5	10,0	0,80	43	B
6	1940	18	13,5	0,75	*	20,0	18,0	0,90	33	B
7	1955	40,0	30,0	0,75	*	50,0	45,0	0,90	50	B
8	1963	87,5	---	B	1987	109,3	---	F	25	C
9	1962	40,0	---	B	1990	56,1	---	F	40	B
10	1937	40	---	B	1990	63,07	---	F	57	B

Esclarecimentos adicionais acerca da Tabela 1:

FP / Isol. - Fator de potência ou classe de isolamento;

Entrada em Operação - quando encontrar um asterisco (*) considerar que os trabalhos de R&M foram realizados no período de 1981 à 1989;

Ganho % - quando existir, na mesma linha, um asterisco na coluna "Ent. em oper." o ganho é dado como uma relação de MW, caso contrario como relação de MVA;

Principais Melhorias - A: Troca do enrolamento do estator e adequações no enrolamento de campo;
 B: troca do enrolamento do estator e rotor, adequações no sistema de ventilação;
 B⁽⁺⁾: idem anterior, considerando que o gerador foi reenrolado em 1960;
 C: Troca do enrolamento do estator e adequações no sistema de ventilação.

TABELA 2- Ponderação dos Indicadores

Indicadores (I _{ij})	Peso (P _i)	Instalações / Unidades Geradoras (j)			
		U1	U2	.....	Un
Idade (I _{1j})	P1	P1*I ₁₁	P1*I ₁₂	.....	P1*I _{1n}
Custos de O&M (I _{2j})	P2	P2*I ₂₁	P2*I ₂₂	.....	P2*I _{2n}
Elevação da Vida Útil (I _{3j})	P3	.	.	.....	.
Produtividade (I _{4j})	P4	.	.	.....	.
Flexibilidade operacional (I _{5j})	P5	.	.	.....	.
Somatório dos pontos (Peso total)		W ₁	W ₂	.....	W _n