



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GMI/12
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

**AValiação DA CONFIABILIDADE HUMANA NA OPERAÇÃO E NA MANUTENÇÃO DE USINAS
HIDRELÉTRICAS**

**Jarbas Patriota dos Santos(*)
COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL GeT**

RESUMO

Nas ações de operação e de manutenção de usinas hidrelétricas a confiabilidade humana é um importante indicador para avaliar a qualidade destas atividades. Falhas humanas podem provocar de um simples retrabalho até vultosos prejuízos e, também, podem ser diretamente relacionadas com acidentes de trabalho. No Setor Elétrico vários apagões foram originados por falhas humanas. Neste Informe Técnico será realizada uma análise estatística das falhas classificadas como sendo de origem humana que ocorreram durante a realização das tarefas de operação e manutenção nas usinas da Copel Geração, Transmissão e Telecomunicações S.A. – Copel GeT, que possuem Unidades Geradoras – UG com potência instalada igual ou superior a 10 MW, os valores encontrados permitirão avaliar o nível de confiabilidade das ações de operação e manutenção em relação aos demais indicadores de desempenho da produção de energia.

Outra questão abordada é o quanto a vigilância embutida nos sistemas que gerenciam a operação e manutenção influencia nos resultados finais obtidos. O fato de que, atualmente, tudo o que é executado pode ser rastreado, transmite aos executores uma sensação de vigilância contínua. O que por um lado é positivo na medida em que os condiciona a estarem sempre atentos durante toda a jornada de trabalho, pois qualquer ato em desacordo com os padrões estabelecidos pode ser identificado, e seu responsável poderá estar sujeito a sanções administrativas. Entretanto, por outro lado, caso a vigilância seja ostensiva pode pré dispor os executores a erro, uma vez que o stress imposto pela vigilância será um fator a influenciar negativamente no desempenho das funções de operação e de manutenção.

O estudo permite concluir que o monitoramento, através de um indicador específico para falhas humanas, ainda não é possível com os controles atuais da Copel GeT. Também, o emprego das distribuições estatísticas para analisar as falhas da operação e manutenção de usinas mostrou-se frustrante, pelas peculiaridades inerentes a estes processos. Porém, os dados indicam que as falhas humanas ocorridas durante a execução das atividades de operação e de manutenção das usinas não comprometem a confiabilidade da produção de energia.

PALAVRAS-CHAVE

Confiabilidade humana, Manutenção, Operação, Usina Hidrelétrica, Falha humana, Erros.

(*) Endereço: Rua José Izidoro Biazetto, 158 - Bloco A – CEP 81.200-240 Curitiba, Pr – Brasil
Tel: (+55 41) 3331-3695 – Fax: (+55 41) 3331-3666 – Email: jarbas.patriota@Copel GeT.com

1.0 - INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica está sendo cada vez mais objeto de regulação por parte da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e do Operador Nacional do Sistema – ONS. Historicamente o consumo de energia elétrica é superior ao crescimento do Produto Interno Bruto – PIB, mesmo em anos que apresentaram estagnação econômica houve aumento no consumo de energia. Deste fato decorre uma maior exigência aos agentes de produção quanto a continuidade e confiabilidade da energia produzida. Neste contexto as equipes de operação e de manutenção têm um papel importante para assegurar a confiabilidade no fornecimento. Por isso, monitorar de forma sistemática o desempenho destas equipes permite aos concessionários manter seu processo de produção de energia sob controle.

A demanda por redução de custos, associada a uma busca incessante por elevada rentabilidade para os investimentos realizados impõem uma pesada carga aos gestores dos ativos de produção de energia, deixando a eles poucas alternativas para atender as solicitações de mercado e do Poder Concedente. Principalmente, após a publicação da MP-579/2012, posteriormente convertida na Lei Federal 12.783/2013, sinalizou ao Setor Elétrico que os valores e as condições propostas para a prorrogação das concessões reduzirão drasticamente a rentabilidade dos Agentes. O custo de serviços e produtos é um fator extremamente limitador quando é necessário agregar mais qualidade ao fornecimento. Inevitavelmente, não é possível conciliar a redução de custo com a manutenção da qualidade do serviço prestado, principalmente quando se trata da prestação de um serviço essencial à sociedade.

Portanto, sob esse contexto, o tratamento adequado para as falhas humanas é fundamental para manter a confiabilidade do fornecimento de energia nos padrões exigidos pelos órgãos reguladores. A identificação das causas que provocaram falhas operacionais e de manutenção torna-se imprescindível para tomar as medidas exigidas visando garantir a qualidade destas atividades.

O processo de gestão da operação e manutenção das usinas da Copel GeT, procura garantir que todo o evento que implique em perda da função geração, ou seja qualquer falha que interrompa a produção de energia, venha a ser investigada em detalhes para identificar a causa da interrupção. Todas as falhas são analisadas e classificadas conforme as possibilidades listadas na Tabela 2. Neste trabalho as falhas identificadas como sendo de execução de operação ou de manutenção serão confrontadas com as demais possibilidades previstas para causas humanas, visando mensurar qual é a contribuição delas em relação as demais causas. Também, outros aspectos serão enfocados, tais como o percentual de indisponibilidade provocado pelas falhas humanas, taxa de falha humana, e a quantidade de falhas em relação as intervenções realizadas pelas equipes de operação e manutenção.

Com relação aos aspectos comportamentais serão mencionadas as possibilidades que podem provocar um erro de operação ou de manutenção. Vale ressaltar que mesmo com a habilidade e capacitação, adquirida com os treinamentos necessários e com toda a documentação de apoio atualizada, o fator humano pode provocar falhas devido ao stress, fadiga, problemas pessoais e excesso de confiança entre outros fatores. Uma das principais características da falha humana, nos processos de operar e manter usinas hidrelétricas é ser absolutamente imprevisível, ao contrário dos demais processos industriais onde a falha humana pode ser prevista por modelagem estatística, e os produtos defeituosos podem ser detectados pelos controles de qualidade. Na produção de energia elétrica o principal controle de qualidade é sua continuidade de fornecimento, seguida dos limites de frequência e tensão. Contudo, além da manutenção da continuidade, é imprescindível que a geração seja sempre, em tempo real, igual a carga do sistema mais as perdas dos sistemas de transmissão e distribuição, caso contrário o fornecimento de energia é interrompido por atuação das proteções que monitoram os níveis de frequência e de tensão. Por isso, a confiabilidade na execução das atividades de operação e de manutenção é fundamental.

2.0 - DESENVOLVIMENTO

A Copel GeT opera e mantém 19 usinas próprias (hidráulicas, térmicas e eólicas) com 4.552,11 MW instalados. Também, possui participações em mais 6 empreendimentos de geração com 1.122,61 MW (hidráulicas e térmicas). Nas usinas que tem participação acionária a Copel GeT, é prestadora de serviços de operação e manutenção de usinas, isso a faz responsável por um parque gerador com 5.674,72 MW instalados. Entretanto, no estudo a seguir serão analisados o comportamento de 23 UG, cuja potência instalada é superior a 10 MW, que correspondem a 83,30% do parque gerador da Copel GeT, sendo que a área responsável por estas atividades é a Superintendência de Operação e Manutenção da Geração – SOM. As UG que serão objeto deste estudo estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação de Usinas e Unidades Geradoras

UHE	Sigla	Potência Instalada (MW)	N. UG	Potência por UG
Gov. Bento Munhoz	GBM	1676	4	419,00
Gov. Ney Braga	GNB	1260	4	315,00
Gov. José Richa	GJR	1240	4	310,00
Gov. Parigot de Souza	GPS	265	4	65,00
Guaricana (*)	GNA	36,00	1	16,50
Santa Clara (**)	SCL	120,00	2	60,09
Fundão (**)	FND	120,00	2	60,09
Foz do Chopim (**)	FCH	29,70	2	14,54
		4.746,70	23	4.727,70

(*) Na UHE GNA apenas a UG de 16,5 MW está incluída neste estudo.
 (**) Usinas nas quais a Copel GeT tem participação acionária e presta serviços de O&M

2.1 METODOLOGIA DE MONITORAMENTO DE FALHAS

Nas instalações de produção de energia as falhas humanas podem ocorrer em qualquer etapa da sequência que abrange: a fase de projeto, montagem dos equipamentos e comissionamento antes da operação comercial, podem ser também decorrentes de falhas nos procedimentos e na documentação de apoio à operação e à manutenção, outra possibilidade pode ser uma programação de serviços inadequada. Porém, as falhas que estão sob a gestão direta das equipes de operação e manutenção são aquelas que podem ocorrer durante a execução destas atividades. Há, também, a possibilidade de que elas venham a ocorrer por atos de vandalismo, entretanto esta é uma possibilidade bastante remota, pois das 175 falhas classificadas, desde 2006 como sendo decorrentes de fatores humanos, nenhuma delas foi considerada como ato de vandalismo.

A classificação de falhas usadas pela Copel GeT subdivide as alternativas de falhas humanas nas etapas de projeto, montagem e comissionamento como podendo ser de terceiros ou próprias.

Na Tabela 2, estão listadas todas as possibilidades para classificar uma ocorrência e seu respectivo número de ocorrências no período considerado. Nela estão destacadas aquelas usadas para a classificação das falhas humanas: projeto de terceiros ou próprio, montagem de terceiros ou própria, comissionamento por terceiros ou próprio, execução da operação ou da manutenção, metodologia da operação ou da manutenção, programação inadequada e vandalismo. Para o presente estudo serão enfocadas as falhas classificadas como execução inadequada da operação e/ou da manutenção.

Tabela 2 – Causas fundamentais das ocorrências

SIGLA	DESCRIÇÃO	N. FALHAS	SIGLA	DESCRIÇÃO	N. FALHAS
AB	ABALROAMENTO /COLISÃO		EX	EXPLOSÃO	
AM	AÇÃO DO MEIO AMBIENTE		FB	FABRICAÇÃO / MATERIAL	26
AF	AFROUXAMENTO		FG	FADIGA	4
AQ	AGENTES QUÍMICOS		FL	FLUXO/VAZÃO ANORMAL	
AN	ANIMAIS		IC	INCÊNDIO / FOGO	
AR	ARMAZENAGEM		IN	INDETERMINADA	4
AT	ATERRAMENTO	1	IF	INFILTRAÇÃO	
AC	ATUAÇÃO CORRETA DA PROTEÇÃO ELÉTRICA	1	IE	INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA	1
AP	ATUAÇÃO CORRETA DA PROTEÇÃO N-ELÉTRICA		LU	LUBRIFICAÇÃO INADEQUADA	2
AE	ATUAÇÃO INDEVIDA DE PROTEÇÃO ELÉTRICA		ME	MATÉRIA ESTRANHA AO SISTEMA	8
AI	ATUAÇÃO INDEVIDA DE PROT. NÃO-ELÉTRICA	1	MC	MAU CONTATO	2
AN	ANIMAIS	2	MM	METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO	15
BI	BAIXO ISOLAMENTO		MO	METODOLOGIA DE OPERAÇÃO	1
CV	CAVITAÇÃO / EROÇÃO		MT	MONTAGEM DE TERCEIROS	9
CT	CENTELHAMENTO		MP	MONTAGEM PRÓPRIA	1
CI	CIRCUITO INTERROMPIDO		NA	NÍVEL ANORMAL	
CB	COMBUSTÍVEL		PC	PERDA DE CONTROLE / COMANDO	
CM	COMISSIONAMENTO DE TERCEIROS	4	PE	PERDA DE ESTABILIDADE	
CP	COMISSIONAMENTO PRÓPRIO	4	PA	PRESSÃO ANORMAL	
CO	CORROSÃO / OXIDAÇÃO	1	PO	PROBLEMAS OPERACIONAIS EXTERNOS	1
CC	CURTO-CIRCUITO	1	PI	PROGRAMAÇÃO INADEQUADA	
DI	DEFEITO PROTEÇÃO, SUP., CONTR. E MEDIÇÃO	7	PJ	PROJETO DE TERCEIROS	67
DF	DEFORMAÇÃO	1	PR	PROJETO PRÓPRIO	29
DT	DEGRADAÇÃO TÉRMICA	1	QE	QUEBRA / ROMPIMENTO / CISALHAMENTO	
DL	DESAJUSTE ELETRO-ELETRÔNICO	1	QD	QUEDA	
DM	DESAJUSTE MECÂNICO	5	QU	QUEIMA	
DS	DESALINHAMENTO / DESNIVELAMENTO		RP	RESTRIÇÃO OPERATIVA	
DB	DESBALANCEAMENTO		RM	ROÇAMENTO	
DA	DESCARGA ATMOSFÉRICA		ST	SOBREAQUECIMENTO / SOBRETENSAO	
DE	DESGASTE	2	SC	SOBRECARGA / SOBRECORRENTE	
DG	DESLIGAMENTO		SO	SOBREVELOCIDADE	
DZ	DESLIZAMENTO		SF	SOFTWARE	1
DO	DESLOCAMENTO		SS	SUBTENSÃO	1
EE	EM ESTUDO	43	SU	SURTO / SOBRETENSÃO	4
EM	EMPERRAMENTO	1	TF	TRINCA, FISSURA	1
EN	ENTUPIMENTO / OBSTRUÇÃO	4	UM	UMIDADE	
EV	ENVELHECIMENTO/ DETERIORAÇÃO	33	VA	VANDALISMO	
EI	EXECUÇÃO DE MANUTENÇÃO	30	VB	VIBRAÇÃO	1
EO	EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO	15	VZ	VAZAMENTO	1

2.2 SISTEMATIZAÇÃO DO MONITORAMENTO DE FALHAS

A SOM desde 2006 registra e analisa de forma sistematizada todas as ocorrências que implicam na perda da função geração em suas usinas, com maior ênfase para as Unidades Geradoras – UG, com potência instalada igual ou superior a 10 MW. Para isso utiliza um aplicativo chamado Pitágoras, módulo do portal OMNI que agrupa

as ferramentas de gestão da operação e manutenção das usinas. A fonte de dados do Pitágoras é o RDE – Registro Diário de Eventos, aplicativo no qual os operadores registram todos os eventos relevantes que ocorrem durante o funcionamento das unidades geradoras e, também, as ações tomadas quando são identificadas condições iminentes de perda da função geração.

À Operação cabe emitir um relatório preliminar, em até 24 h após a falha, informando as condições operacionais antes, durante e depois destes eventos, quais foram as proteções que atuaram, além das informações que forem possíveis obter para ajudar nas análises que se seguirão. As ocorrências registradas no Pitágoras são analisadas semanalmente em reunião por vídeo conferência envolvendo as equipes de operação e da manutenção das usinas e da Engenharia de Manutenção. Nestas reuniões são analisadas, a partir do relatório preliminar, todas as condições de contorno relativas ao evento, principalmente, o que pode ter provocado a falha; o que aconteceu durante e a condição operacional após a falha.

Todas as ocorrências são pré-classificadas segundo as opções da Tabela 2. Quando é possível identificar, de imediato, claramente, a causa fundamental que provocou a perda da função a ocorrência é encerrada, e o relatório preliminar é complementado com outras informações relativas a ocorrência e encaminhado para aprovação. Entretanto, caso isso não seja possível com base nas informações iniciais, a ocorrência é considerada como “Em Estudo – EE”, sendo então nomeados os responsáveis (usina e engenharia de manutenção) pelo detalhamento e ensaios para identificar a causa que provocou a falha. O estudo somente é considerado concluído quando é identificada uma causa fundamental para a ocorrência, conforme a recomendação de Xenos: “O princípio básico da eliminação definitiva de qualquer falha nos equipamentos é a identificação precisa da suas causas fundamentais, o que permite tomar as ações necessárias para bloquear estas causas e evitar a reincidência da falha”.

Como o objetivo é avaliar a confiabilidade durante a execução dos serviços de operação e de manutenção, serão analisadas somente as falhas provocadas por: Desligamento de Emergência – DEM, Desligamento de Urgência – DUR e Desligamento Automático – DAU, segundo os critérios dos Procedimentos de Rede – RO.AO.BR-04.

Serão consideradas para o presente estudo somente as ocorrências classificadas conforme as opções da Tabela 2, porque estas classificações são amplamente discutidas e acordadas pelas áreas de operação, manutenção e engenharia de manutenção e de operação. Portanto, sobre a classificação acordada nas reuniões de análise de ocorrências não cabe mais qualquer questionamento, principalmente quando se trata de falhas humanas.

2.3 ABORDAGEM QUALITATIVA – O FATOR HUMANO

O estudo da confiabilidade encontra uma grande dificuldade para quantificar corretamente as falhas humanas. Porque, assim como errar é humano, esconder o erro é mais humano ainda. Sendo possível, a falha vai ser escondida ou atribuída a outros fatores. A menos que seja possível, através dos sistemas de rastreamento, identificar claramente que a falha teve origem numa ação humana e, principalmente, identificar quem a cometeu.

Tendo em vista essa dificuldade, uma análise possível é fazer uma associação com a Pirâmide de Bird para acidentes de trabalho. Segundo Bird para cada 600 atos inseguros resulta um acidente grave ou fatal, se considerarmos a perda da função geração como sendo um acidente grave, teremos provavelmente centenas de ações que resultaram em falhas, que não foram registradas pelos sistemas de rastreamento, e muito menos admitidas pelos seus autores. O principal aspecto envolvido nesta forma de proceder é preservação da credibilidade. Inevitavelmente, quando uma falha ocorre e seu autor fica conhecido, tal fato acaba sendo de conhecimento geral, e isto traz um aspecto extremamente negativo que é estigmatizar quem falhou, principalmente se a falha tiver provocado graves consequências.

Segundo Pallerosi, as falhas humanas podem ser classificadas como erros ou transgressões. Os erros por sua vez podem ser divididos em enganos ou deslizos. E, as transgressões, em voluntárias e involuntárias. Esses conceitos não serão tratados em detalhes, apenas o necessário para o entendimento do presente estudo.

O deslize é um fator eminentemente humano, pode acontecer devido a estresse elevado, cansaço, ou a outro fator psicológico. O deslize pode ocorrer mesmo o executor tendo as habilidades requeridas para o exercício da atividade, inclusive experiência na função.

Os enganos podem acontecer devido a falta de aptidão, de conhecimento, de treinamento adequado, o que leva a um diagnóstico inadequado e, também, por uma documentação técnica de difícil entendimento que não oriente corretamente as atividades a serem realizadas.

Já as transgressões podem ser intencionais ou involuntárias. As transgressões intencionais possuem fatores como irresponsabilidade, negligência, esperteza e ambição, decorrem da convicção de que a impunidade será praticamente certa. As involuntárias são provocadas por desconhecimento das consequências, por imperícia na execução da atividade, também podem estar presentes fatores sociais e culturais.

2.3.1 ABORDAGEM QUALITATIVA – A VIGILÂNCIA

O filósofo Michel Foucault cunhou o termo “sociedade disciplinar”, buscando aglutinar nele características essenciais a distribuição dos indivíduos em espaços individualizados, classificatórios, hierarquizados, visando obter deles o máximo desempenho em suas funções. Estabelece uma sujeição do indivíduo ao tempo, com o objetivo de produzir com o máximo de rapidez e eficácia. A vigilância também se expressa como um dos seus instrumentos de controle, de maneira contínua e permanente.

Cada vez mais os indivíduos serão controlados e pressionados para que cumpram suas tarefas com confiabilidade e no menor tempo possível. O mantra recorrente em muitas organizações o “fazer mais com menos”, induz a submissão dos indivíduos a um regime de trabalho extenuante, muitas vezes obrigando-os a se privar do convívio familiar e de outras formas de lazer, resultando numa acentuada perda de qualidade de vida. O que, paradoxalmente, deixa o indivíduo propenso a cometer erros durante a realização de suas atividades profissionais.

O uso obrigatório de crachá, leitura biométrica, senhas de acesso aos sistemas, monitoramento de e-mail, monitoramento de imagens no ambiente de trabalho, controle e restrição de acesso a sites da Internet, são meios disciplinadores da conduta profissional e nos habituamos a eles.

O objetivo de discutir esse assunto é propor uma reflexão sobre os limites admissíveis na busca por incrementos contínuos na produtividade. Todas as grandes organizações empresariais impõem a seus funcionários um rígido controle disciplinar, entretanto como a sociedade contemporânea é uma sociedade essencialmente controladora, isso acaba fazendo parte da normalidade. Em todos os lugares públicos (shoppings, postos de gasolina, hotéis, postos de pedágio, ruas, restaurantes, lojas, elevadores, etc.) somos continuamente monitorados e aceitamos por força de uma argumentação que nos induz a entender que isso nos traz mais segurança.

A questão é qual seria o limite adequado para controlar e pressionar por melhores resultados sem que isso implique em perda de eficiência operacional. O estresse físico e/ou mental influencia significativamente no desempenho das tarefas. Sem nenhum estresse ou pressão positiva para o trabalho existe acomodação e menor desempenho. Um pequeno estresse melhora a performance. Para um forte estresse, a partir de um dado valor máximo, a performance é reduzida, podendo atingir valores que significam baixa eficiência, ou mesmo praticamente anulá-la.

Um indicador possível para medir o qual seria o limite ideal para o estresse positivo poderia ser o Índice de Performance – IPE, e por consequência um indicador importante para avaliar a confiabilidade humana, nele podem ser associados a pressão por resultados e o nível de falhas cometidas. Porém o problema é calcular esse indicador, quanto ao número de falhas é relativamente fácil, mas a dificuldade está em quantificar o nível de stress, porque seus parâmetros, além de subjetivos, precisam ser manifestados de alguma pelas pessoas. Adicionalmente, há ainda a variabilidade do comportamento humano, dependendo da situação a mesma pessoa pode ter reações bastante diferentes.

2.4 METODOLOGIA DE TRABALHO

Uma definição possível para Confiabilidade Humana, segundo Meister, é a probabilidade que um trabalho ou tarefa ser completada com sucesso pelo indivíduo em qualquer estágio operacional do sistema dentro de um tempo mínimo requerido. Como se trata de uma probabilidade é possível utilizar métodos estatísticos para analisar e prever o comportamento dos diversos parâmetros da confiabilidade: confiabilidade (R); quantidade de tarefas (n); quantidade de falhas (r) e nível de confiança (C).

Conforme Pallerosi, os dados relativos a confiabilidade humana poderiam ser enquadrados nas seguintes distribuições estatísticas: Exponencial (monoparamétrica, biparamétrica); Normal (biparamétrica); Lognormal (biparamétrica); Logística (biparamétrica); Log - logística (biparamétrica); Menor valor extremo (biparamétrica)

Todavia, os resultados apurados mostraram-se inconsistentes com os modelos estatísticos, pelos seguintes motivos:

1. Distribuição exponencial: indicada quando a taxa de falha é constante, sem influência de fatores ambientais e psicológicos, no presente caso as taxas de falhas não são constantes e há grande influência de fatores pessoais;
2. Normal e Logística: são indicadas quando as falhas ocorrem de maneira simétrica em torno de um valor médio de distribuição, o que não se apresentou nos casos levantados;
3. Lognormal e Log-logística: usadas para falhas humanas que ocorrem nos períodos iniciais das tarefas (Lognormal) ou no final (Log-logística) e sem influências externas. O que também não é o caso, pois as falhas apuradas não se enquadram nas características citadas;
4. Menor valor extremo: semelhante a log-logística, com as falhas concentradas no final das missões, indicando principalmente a ocorrência de fadiga ou estresse, também não é possível pelos motivos já citados.

As distribuições estatísticas mencionadas adequam-se melhor a atividades industriais, com tarefas repetitivas e com parâmetros que possam ser monitorados continuamente, ou seja qualquer falha será detectada pelo controle de qualidade no decorrer do processo.

As atividades de operação e de manutenção de usinas não possuem essas características, mesmo com toda a sistematização de seus procedimentos podem apresentar uma ampla gama de variáveis nas ações a serem executadas. As da operação em função das condições de momento demandadas pelo Sistema Elétrico, e no caso da manutenção podem variar em função dos executantes, da complexidade da tarefa, da condição operativa, condições climáticas, etc. Sendo que, tanto na operação como na manutenção, os fatores externos principalmente os ambientais e psicológicos, tem significativa influência na realização das atividades de rotina.

2.4 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE USINAS

As atividades de operação e manutenção de usinas requerem, necessariamente, adequada qualificação técnica, muito treinamento e baixa rotatividade de pessoal. Na Copel GeT a formação de um operador de usina requer no mínimo dois anos, sendo que ele precisa ter no mínimo ensino médio em algum segmento técnico, a seleção começa por um seletivo treinamento teórico de cinco meses, depois os que forem aprovados fazem um estágio com supervisão direta por no mínimo um ano, antes de serem submetidos ao processo de certificação e estarem aptos a executarem sozinhos as operações exigidas, conforme a RO.MP.BR 04 dos Procedimentos de Rede do ONS. As exigências para o pessoal de manutenção são um pouco diferentes, também no mínimo ensino técnico, e ao longo do tempo treinamentos específicos em sua área de atuação e uma constante atualização tecnológica.

Outro aspecto é importante dimensionar o quanto a operação e a manutenção estão expostas a erro. Nas atividades de operação são realizadas, somente pelos operadores do Centro de Operação da Geração – COG, em média 200 intervenções por turno, perfazendo 600 intervenções por dia, o que resulta em mais de 73.000 intervenções por ano, entre a realização de manobras e o reconhecimento de alarmes, aqui cabe ressaltar que esses números são dados estimados por operadores experientes, uma vez que não há um controle para registrar as intervenções realizadas. Também, é preciso destacar que nem toda a intervenção tem potencial para provocar uma falha, sendo que pelas investigações realizadas as falhas muitas vezes ocorrem mais por omissão, do que por ação do operador. O cálculo da Confiabilidade da execução da operação, envolve uma complexidade não prevista inicialmente, porque além de implicar na identificação com precisão quais intervenções tem potencial para provocar a perda da função geração, é necessário quantificar quantas vezes essas intervenções são realizadas, o que sem um processo informatizado é inviável de ser efetivado.

Já as equipes de manutenção emitem em média 16.000 ordens de serviço por ano, somente nas usinas relacionadas na Tabela 1. Para qualquer intervenção nos equipamentos é necessário abrir uma ordem de serviço, assim todas as intervenções ficam registradas e podem ser rastreadas quando necessário. Entretanto, da mesma forma que a operação, somente uma parcela de todas as ordens de serviço emitidas podem provocar falhas, o problema é a seleção destas ordens. A primeira vista pode parecer fácil, bastaria separar as intervenções em equipamentos mais críticos em relação a função geração. Todavia, por uma diferença de conceitos no desenvolvimento do aplicativo usado para registrar as falhas (RDE) e no GMG – Gerenciamento da Manutenção da Geração, usado para a emissão das ordens de serviço dificulta esse trabalho. Essa diferença está sendo eliminada com a utilização da mesma hierarquia por todos os aplicativos vinculados ao Portal OMNI.

2.4.1 OPERAÇÃO

A operação das usinas Copel GeT é realizada pelo COG localizado em Curitiba, sendo responsável por operar 99% do parque gerador. Nas grandes usinas: GBM, GNB, GJR e GPS, por possuírem sistemas que permitem seu auto reestabelecimento, há também operação local em regime de turnos de revezamento. Nas Pequenas Centrais Elétricas – PCH (FCH e GNA), há operação local somente em horário comercial, nas demais horas do dia a operação é realizada pelo COG.

O COG concentra além da operação em tempo real, também, as atividades de pré e pós-operação, bem como a engenharia de operação. Das estações de trabalho do COG é possível executar praticamente todas as ações que um operador local pode realizar da Sala de Comando da usina.

Todos os procedimentos usuais da operação estão escritos e disponíveis para consulta dos operadores. Outra característica importante é que no COG e nas usinas, as equipes de operação são formadas por operadores com variados graus de experiência, o uniformiza parcialmente as equipes. O diferencial dos operadores do COG é a experiência na função e o conhecimento do funcionamento operacional de todas as usinas. Inclusive, a constituição das equipes podem sofrer alterações em virtude da elaboração da escala de revezamento. Há também, a considerar o desgaste físico imposto pela escala de revezamento.

2.4.2 MANUTENÇÃO

Com exceção das UHE GNA e UHE FCH, cuja manutenção está centralizada em pólos regionais, todas as demais são atendidas por equipes próprias de manutenção, estas equipes também estão passando por um processo muito acentuado de renovação, em alguns casos mais da metade de seus integrantes possui menos de três anos de experiência na função. O que para sistemas complexos como os de uma usina hidrelétrica pode ser considerado insuficiente. As equipes da Engenharia de Manutenção que dão o suporte técnico para as equipes das usinas em questões de maior complexidade técnica, estão sendo igualmente renovadas, resultando que também seus integrantes ainda estão adquirindo experiência.

Os procedimentos de manutenção são baseados em guias de manutenção sistemática, elaborados sob os preceitos da Manutenção Baseada e Confiabilidade – MBC, que começou a ser implantada na Copel GeT em 1996. Estes procedimentos são gerenciados por um software desenvolvido internamente, que também abrange e se interliga com as atividades de operação. São terceirizadas apenas atividades específicas que requerem elevada especialização, como por exemplo: recuperação de cavitação em turbinas, ou quando em grandes manutenções é necessário um maior contingente de pessoas.

2.5 MONITORAMENTO DE FALHAS – ABORDAGEM QUANTITATIVA

Resumidamente, das 366 falhas ocorridas de 2006 a 2012, 45 foram consideradas falhas de execução, ou seja 12,30% do total. A indisponibilidade provocada por todas as falhas, no mesmo período foi de 24.506 horas, já as falhas de execução somaram 920 horas, o que corresponde somente a 3,76% da indisponibilidade total.

No gráfico da Figura 1, a linha superior representa o número total de ocorrências independente de sua classificação quanto a causa fundamental, a linha intermediária são apresentadas todas as ocorrências provocadas por falhas humanas (projeto, montagem, comissionamento, execução de manutenção e operação, etc.); na linha inferior estão somente as ocorrências classificadas como Execução Inadequada da Operação – EO e da Manutenção – EI.

Percebe-se que as falhas humanas representam uma parcela pequena das falhas totais, além de mostrar desde 2007 uma acentuada tendência de queda. Já as falhas na execução das atividades de operação e de manutenção possuem um comportamento aleatório e situadas num patamar relativamente baixo.

Contudo, apesar de todos esforços no sentido de reduzir a quantidade de ocorrências a partir de 2010, quando tivemos o menor número de falhas – 36, em 2011 tivemos um aumento discreto para 38 falhas. Porém, em 2012

houveram 56 falhas, destas 31 falhas estão classificadas preliminarmente como Em Estudos – EE e seus relatórios ainda não foram concluídos.

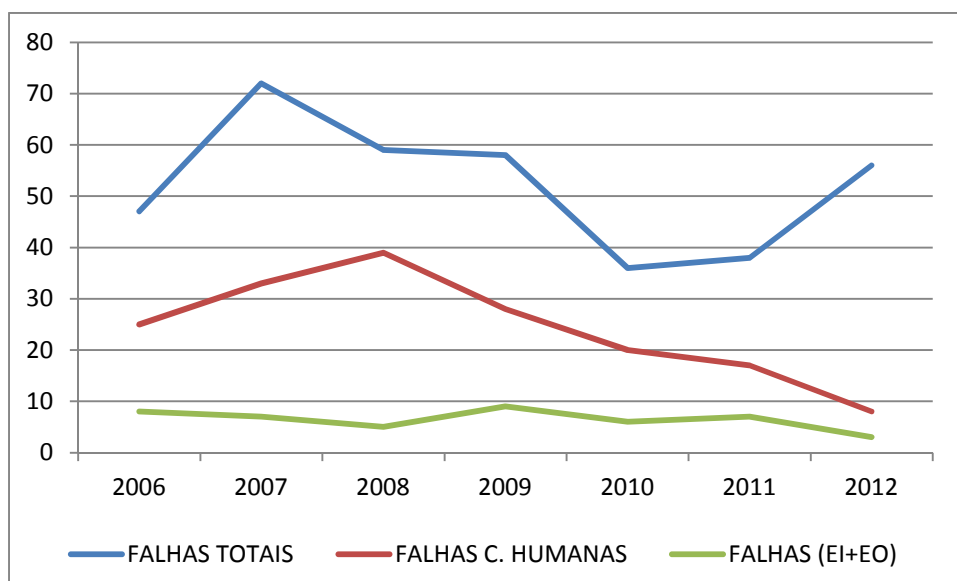


FIGURA 1 – Número de ocorrências

A indisponibilidade provocada por estas falhas estão demonstradas no gráfico da Figura 2, constata-se que a indisponibilidade provocada por causas humanas apresenta-se num patamar bastante inferior em relação as demais causas. Sendo que, o agressivo aumento da indisponibilidade em 2012, além do aumento no número de ocorrências, deveu-se a uma falha simultânea envolvendo dois transformadores elevadores da UHE GBM, que provocou 2.517 horas de indisponibilidade.

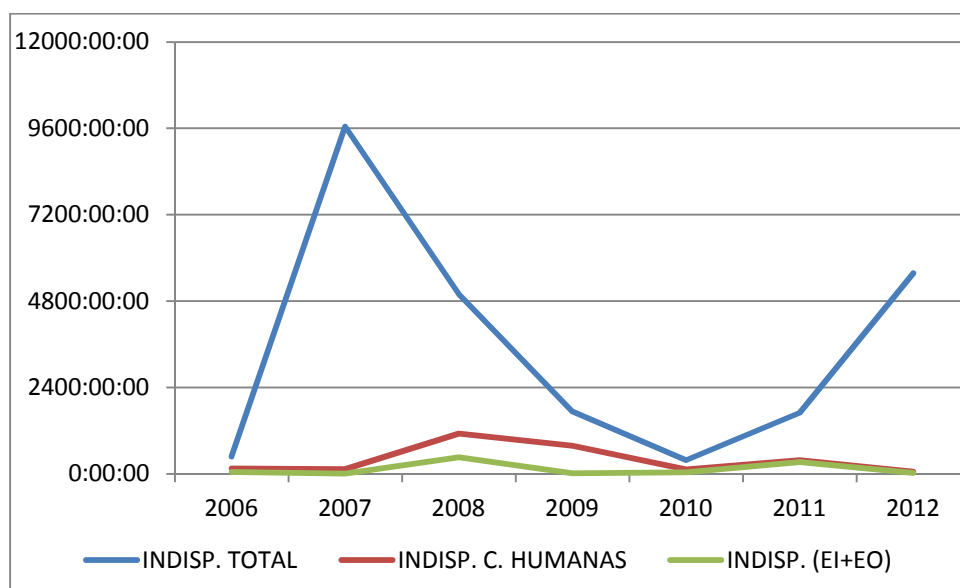


FIGURA 2 – Horas de Indisponibilidade

2.5.1 Análise das falhas classificadas como Execução Inadequada da Operação – EO:

A execução inadequada da operação foi responsável pelos desligamentos listados na Tabela 3, na primeira linha está o número de falhas ocorridas no ano, a segunda linha está a soma das horas de indisponibilidade por falha. Nas demais linhas estão individualizadas as indisponibilidades por falha, que revela uma característica peculiar da operação que é o fato do próprio operador perceber de imediato sua falha e, sendo possível, corrigi-la em seguida

Tabela 3 – Falhas na Execução da Operação – EO

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
N. Falhas	3	2	0	2	5	2	1

Indisp. (h)	1:03	0:23	0:00	1:37	26:24	190:04	0:47
Tempos individuais das falhas	0:12	0:21		0:42	8:47	1:00	0:47
	0:22	0:02		0:55	2:55	189:04	
	0:29				8:52		
					2:55		
					2:55		

Análise estatística:

- Para as 15 falhas classificadas como EO; 93% delas provocaram menos de 10 horas de indisponibilidade.
- O tempo médio das indisponibilidades foi de 15,73 h, influenciada pela indisponibilidade de 189 horas da UG 1- UHE FCH descrita abaixo, sendo que a mediana foi de 0,78 h.
- Análise individual das maiores falhas:
 - A maior indisponibilidade de 189:44 h em 2011, aconteceu com a UG1 da UHE FCH, foi provocada por um DEM. O operador do COG não percebeu o alarme indicador que o reservatório estava abaixo do nível mínimo de operação, então para atender a solicitação para controlar a tensão na região, o operador elevou a geração provocando possivelmente vórtice na tomada d'água e entrada de ar no conduto forçado. O que desestabilizou a UG, danificando a vedação do eixo no mancal guia inferior, provocando inundação no poço da turbina, foi necessário desmontar o mancal guia da turbina, limpar e substituir o óleo.
 - A segunda maior foi de 8:47 h na UG 2 da UHE FCH, foi um DEM devido a ruído no regulador de velocidade. A manutenção realizou todas as verificações possíveis não encontrando qualquer anomalia. A análise ocorrência apontou que o operador deveria ter verificado outros parâmetros da UG antes de interromper a geração, também contribuiu a inexperiência do operador, que substituiu o operador titular da usina.
 - A terceira foi de 8:52 h na UG1 da UHE GNB, foi um DEM devido a manobras inadequadas no sistema de resfriamento das unidades que provocou a ruptura de flange de uma válvula na linha tronco.

2.5.2 Falhas classificadas como Execução Inadequada da Manutenção – EI:

Da mesma forma que na Tabela 3, são listadas pela ordem, o número de falhas por ano, a indisponibilidade anual e as indisponibilidades provocadas por cada falha. De imediato contata-se que o tempo de retorno à operação por falha da manutenção é significativamente superior aos da operação. Diferente da operação que percebe rápido o erro cometido, as falhas da manutenção demandam muitas vezes um diagnóstico, uma substituição de componente ou de um equipamento.

Tabela 4 – Falhas na Execução da Manutenção – EI

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
N. Falhas	5	5	5	7	1	5	2
Indisp. (h)	50:49	7:46	462:19	14:11	13:34	132:01	19:21
Tempos individuais das falhas	0:44	1:53	10:59	0:47	13:34	25:51	1:09
	0:26	0:37	45:18	3:43		13:50	18:12
	48:27	0:05	404:15	0:53		2:32	
	0:43	4:11	1:05	0:30		0:25	
	0:29	1:00	0:42	2:52		89:23	
				0:12			
				5:14			

Análise estatística:

- Para as 30 falhas classificadas como EI, 70% delas provocaram menos de 10 horas de indisponibilidade.
- O tempo médio das indisponibilidade foi de 23,33 h, sendo que a mediana foi de 1,51 h.
- Análise individual das falhas com maior indisponibilidade:
 - A maior indisponibilidade de 404:15 h em 2008, aconteceu na UG1 da UHE FCH – DEM foi provocado pela sinalização de nível muito alto na tampa da turbina. Análise da ocorrência apontou para manutenção ineficiente na vedação do eixo da turbina.
 - 89:00 h – UG2 da UHE FND – DEM devido a ruído anormal na caixa espiral, durante inspeção encontrada uma alavanca usada pelos mergulhadores para posicionamento das grades da tomada d'água durante manutenção.

3. 48:27 h – UG4 da UHE GBM – DAU por subtensão de CC durante substituição de bateria do Serviço Auxiliar, nesta falha vários fatores contribuíram para a ocorrência, entre eles a falta de definição do procedimento de operação do sistema de interligação dos negativos, por desenhos desatualizados, quebra de elemento durante a retirada da bateria n. 1 e problemas de funcionamento no circuito hidráulico da bomba de regulação do regulador de velocidade.
4. 45:18 h – UG1 da UHE FCH – DUR devido a fechamento indevido de válvula posterior ao relé Bucholz que não permitiu a expansão do óleo para o tanque. Houve esquecimento por parte da manutenção de abrir a válvula após o relé, para que o tanque de expansão do transformador cumprisse sua função.

3.0 - CONCLUSÃO

Quando os dados da operação e da manutenção são analisados em conjunto em relação as demais causas de falha o resultado é favorável, porque as falhas humanas de execução representam apenas 3,76% da indisponibilidade forçada. Todavia, ao analisá-los separadamente, constata-se que os dados apresentados pela execução da operação nas usinas da Copel GeT está num nível aceitável, em função do número de falhas e da indisponibilidade que elas provocaram. Entretanto, a confiabilidade da execução da manutenção apresentou resultados que merecem ser estudados em profundidade, não apenas pelo número de falhas (EI=30), que foi o dobro da operação (EO=15), mas também pela maior indisponibilidade causada, 700 horas contra 200 horas a operação. Apenas uma ocorrência da manutenção provocou o dobro da indisponibilidade de todas as ocorrências da operação, isso indica que as ações equivocadas da manutenção tem um potencial muito grande para causar danos. Este estudo deve ser aprofundado sob a ótica dos eventos que podem provocar grandes impactos, porém apresentando baixa probabilidade (HILP – High Impact Low Probability), principalmente quando se é um prestador de serviços de operação e manutenção, e o Contrato de O&M prevê penalidades caso uma disponibilidade mínima não seja atingida.

Como ainda não há um indicador específico para quantificar a confiabilidade humana na Copel GeT. Os dados levantados podem ser considerados como uma referência inicial. Principalmente, quando se analisa o futuro sob a ótica da Lei Federal 12.783/2013, que fixou o Custo de Gestão dos Ativos de Geração num patamar considerado inviável por vários Agentes. Com o teto definido pelo Poder Concedente, resta aos Agentes adequar seus custos para resguardar uma margem mínima de rentabilidade, isso implica na revisão de todos os custos incidentes na operação e na manutenção destas usinas. No “rever” está implícito desde a redução de despesas até a reformulação do quadro de pessoal. Então, a partir de 2015, teremos uma nova realidade, onde será necessário manter os índices de desempenho das instalações, provavelmente com um quadro de pessoal menor que o atual, e com mais pressão para otimização da produtividade.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Pallerosi, Carlos Amadeu; Manzolini, Beatriz Pinheiro; Manzolini, Luiz Ricardo – Confiabilidade Humana: Conceitos, análises e desafios.
- (2) Xenos, Harilaus G. – Gerenciando a manutenção produtiva. Editora DG, 1998. Belo Horizonte, MG.
- (3) Wels, H. C. – Data collection and reability analysis of power plants in Netherlands, Nuclear Research & Consultancy Group NRG, 2003.
- (4) Foucault, Michel – Vigiar e Punir, 36. Ed. Petrópolis, RJ:Vozes, 2009.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Jarbas Patriota dos Santos, formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná em 1983. Especialização em Gerencia da Engenharia de Manutenção pelo Centro Federal de Educação Tecnológica, 1999. Especialização em Gestão Técnica de Concessionárias de Energia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná, 2002.

Cursando Especialização em Engenharia de Confiabilidade na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalhando na Copel GeT desde 1985, com atuação principal em manutenção mecânica de usinas hidrelétricas, gerenciamento de pequenas centrais hidrelétricas, e atualmente como gerente da Divisão de Gestão Técnica da Geração, responsável pela gestão dos processos de gerenciamento da manutenção das usinas da Copel GeT.