



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

XXX.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO GPT

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT

OBTENÇÃO E ANÁLISE DOS INDICADORES OPERACIONAIS DE UMA CENTRAL TERMELÉTRICA

Marcos de Freitas *

Jean Carlos Nunes Ferreira
Companhia Paranaense de Energia - COPEL

RESUMO

O acompanhamento dos dados operacionais de uma central elétrica é exigência dos órgãos reguladores, uma vez que o ONS (1) remunera e estabelece as regras de faturamento utilizando tais dados. Estes índices além de determinar as taxas de falha, avarias, disponibilidade, confiabilidade, subsidiam as decisões de despacho e o planejamento da manutenção. Este artigo descreve a aplicação de metodologia proposta por Lora, E.E.S., Nascimento, M.A.R. *et. al.* (2), para obtenção dos principais indicadores operacionais de uma usina termelétrica, demonstrando seus valores e realizando as análises adequadas. Foi utilizada a base de dados da Usina Termelétrica Araucária, identificando a situação atual da operação e as limitações operacionais.

PALAVRAS-CHAVE

Termelétricas, Indicadores, Disponibilidade, Confiabilidade, Operação.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Usina Termelétrica de Araucária possui potência instalada de 484 MWh em Ciclo Combinado, constituído por duas turbinas a gás, modelo Siemens 501FD2, e uma turbina a vapor, modelo Alstom DKZ2-2N34. Situada na região sul do Brasil, perto de Curitiba, capital do Estado do Paraná, a Usina Termelétrica de Araucária mantém operação contínua desde 2006.

Para o ano de 2007 a Usina Termelétrica de Araucária obteve um índice de disponibilidade médio de 98% e tempo de geração média de 50% das horas disponíveis. Uma queda em 2008 da disponibilidade média para 68% e tempo de geração para 31% justificam este estudo de caso, na intenção de determinar as principais causas destas diferenças.

Os resultados apontaram que, para a Usina Termelétrica de Araucária, qualquer falha na Turbina à Vapor afeta os indicadores de todas as outras unidades da instalação, uma vez que nesta central não é possível a realização de bypass dos gases da exaustão, devido ao fato de não possuir chaminé de dumper de desvio das caldeiras.

Outro ponto observado é a possibilidade de realizar By Pass do vapor, mas com limitação em 70% do fluxo nominal, forçando as Turbinas a Gás a operarem em 50% da Potência Nominal e nesta condição extrapola os limites permissíveis de emissões.

2.0 - CARACTERÍSTICAS DA USINA TERMELÉTRICA DE ARAUCÁRIA

2.1 Usina Térmica a Ciclo Combinado 2 x 2 x 1

O fabricante das Turbinas a Gás é Siemens Westinghouse. As turbinas são do tipo 501FDII, apresentando uma alta performance e níveis reduzidos de emissão. Tal característica atende aos requisitos ambientais fixados pelo Banco Mundial (requisito fundamental para obtenção de financiamento) e às exigências dos organismos locais IBAMA e IAP.

(*) Rua Duque de Caxias, 700 – Gralha Azul – CEP 83708-795 – Araucária, PR – Brasil
Tel: (+55 41) 3240-7070 – Fax: (+55 41)3607-1156 – Email: marcos.freitas@copel.com

Cada uma das Turbinas a Gás propiciam a geração de 160 MW e consomem a plena carga cerca de 1,05 milhão de m³/dia de gás natural.

As Caldeiras de Recuperação de Calor foram produzidas na Indonésia e Coréia pela empresa Aalborg, cada uma com capacidade de geração de 250 ton/h de vapor. A função desse equipamento é produzir vapor através do aproveitamento da alta temperatura dos gases de exaustão das Turbinas a Gás, para acionar a Turbina a Vapor. As Caldeiras de Recuperação possuem dois níveis de pressão, e não têm queima suplementar.

A Turbina a Vapor tem Potência Nominal de 160 MW e foi construída pela Alstom, na Alemanha.



FIGURA 1 – Vista aérea da Usina Termelétrica de Araucária.

2.2 Chaminé de desvio das HRSG's

Em projetos típicos faz parte do conjunto ciclo combinado uma chaminé de desvio do fluxo dos gases de exaustão das CTG's, com operação automática. Sua função principal é permitir a operação das Turbinas a Gás separadamente das Caldeiras, alternando de Ciclo Combinado para Ciclo Simples ou Ciclo Aberto.

A Usina Termelétrica de Araucária não dispõe deste equipamento, ou seja, não é possível desvincular as Turbinas a Gás de suas respectivas Caldeiras e desta forma, sempre haverá produção de vapor pelas Caldeiras, uma vez que as Turbinas a Gás estejam em operação.



FIGURA 2 – Vista da chaminé de desvio dos gases de exaustão.

2.3 Desvio de vapor para o Condensador

O vapor de Alta Pressão é transportado das Caldeiras através de uma tubulação 300 mm de diâmetro até a entrada da Turbina a Vapor. Cada tubulação destas contém uma válvula de retenção/bloqueio para evitar contra-fluxo para a outra Caldeira de recuperação e permitindo manutenções enquanto a outra estiver em operação. Na área da Turbina a Vapor, as duas tubulações de 300mm de diâmetro terminam num único coletor de 500 mm de diâmetro que direcionam o vapor para a Turbina.

O vapor de Alta Pressão também é derivado da linha principal para uma tubulação única de 200 mm de diâmetro até uma válvula de By Pass. Na saída desta, uma tubulação de 600 mm transporta o vapor ao Condensador. Esta válvula age desviando o Vapor que iria para a Turbina para o Condensador e também controla a pressão do vapor durante a partida.

O material da válvula e tubulação de desvio de vapor da Alta Pressão é similar ao material à montante das válvulas de By Pass. O material da tubulação de Vapor Principal de Alta Pressão é aço com liga de cromo.

Durante a operação normal da planta, as válvulas By Pass ficam fechadas. Durante a partida e a parada, as válvulas controlam a pressão do vapor de Alta Pressão quando a Turbina a Vapor não está operando. As válvulas abrem automaticamente em resposta a um trip da Turbina a Vapor e são dimensionadas para permitir a passagem de 70% do fluxo de vapor principal.



FIGURA 3 – Vista da válvula de desvio de vapor para o condensador.

2.4 Valores de emissões dos gases de exaustão máximos permitidos

No fim de 2002, tão logo foi concluída a construção da Usina Termelétrica de Araucária, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná apresentou a Resolução SEMA Nº 041/02, bastante completa quanto aos Padrões de Emissão por tipologia de Fontes de Poluição.

Porém as obrigatoriedades para a Turbina de Gás nesta Resolução SEMA Nº 041/02 eram menos restritivas em relação àquelas citadas na Licença Ambiental, ficando como válido os limites exigidos pelo IAP. Uma revisão para esta resolução foi emitida através da Resolução SEMA Nº 054/06, nada sendo alterado em relação à fonte estacionária de emissão "Turbina de Gás". Os Padrões de Emissões específicos para esta fonte, tanto na Resolução de 2002, quanto na de 2006 podem ser visualizados através da Figura 4, retirada da própria regulamentação. Vale frisar que os Padrões de Emissão são os valores máximos de emissão permissíveis a serem descarregados na atmosfera.

VII. Turbinas de gás:

Condição referencial de Oxigênio: 15 %

Potência Térmica Nominal MW	MP-total mg/Nm ³	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³	SO _x mg/Nm ³	Automonitoramento – Amostragem	
					Parâmetros	Frequência
Até 10	NA	100	350	NA	CO, NO _x e O ₂	Semestral
Entre 10 e 100	NA	100	300	NA	CO, NO _x e O ₂	Semestral
Acima de 100	NA	100	125 ¹⁾ 165 ²⁾	NA	CO, NO _x e O ₂	Contínuo

Notas: 1) Combustível: gás natural
2) Combustível: óleo Diesel
NA: Não aplicável

FIGURA 4 – Padrões de Emissão para Turbinas de Gás (Resolução SEMA Nº 054/06).

Por fim, em 26 de dezembro de 2006, através da Resolução CONAMA Nº 382, o Conselho Nacional do Meio Ambiente “Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas”. Com uma Resolução bastante semelhante à da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná, o CONAMA define no Anexo V os limites de emissão para poluentes atmosféricos gerados por turbinas destinadas à geração de energia elétrica, movidas a gás natural ou combustíveis líquidos, em Ciclo Simples ou Ciclo Combinado, sem queima suplementar, com potência elétrica acima de 100 MW, conforme a Figura 5.

Turbina por tipo de Combustível	NO _x ⁽¹⁾ (como NO ₂)	CO ⁽¹⁾	SO _x ⁽¹⁾ (como SO ₂)	MP ⁽¹⁾
Gás natural	50	65	N.A.	N.A.
Combustíveis líquidos	135	N.A.	200	50

⁽¹⁾ os resultados devem ser expressos na unidade de concentração mg/Nm³, em base seca e 15% de excesso de oxigênio.
N.A. - Não aplicável

FIGURA 5 – Padrões de emissão para Turbina a Gás (resolução CONAMA nº382/2006).

2.4.1 Valores de emissões obtidos durante a operação da Usina Termelétrica de Araucária:

DATA Mês : Junho/2008	Potencia	Stack Temp	Ambiente	O2	Nox	CO	Nox	CO
	MW	C	C		%	O2 corrigido 15%	O2 corrigido 15%	O2 corrigido 15%
					ppm	ppm	mg/Nm3	mg/Nm3
01	148.835	108.602	11.433	14.431	27.608	136.188	56.763	170.234
02	46.564	133.849	14.808	16.650	34.998	734.867	71.957	918.583
03	91.124	97.109	15.405	17.099	15.375	44.171	31.611	55.214
04	-0.064	82.048	16.368	20.926	0.000	0.004	0.001	0.005
08	126.864	101.247	20.568	14.508	27.806	148.046	57.169	185.057
09	159.574	94.239	20.376	13.708	25.343	0.400	52.104	0.500
10	162.674	93.397	13.245	13.844	27.544	0.404	56.630	0.505
11	164.407	95.735	12.627	13.868	25.076	0.650	51.556	0.813
12	162.199	99.216	16.363	13.806	25.757	0.400	52.956	0.500
13	161.453	98.706	17.246	13.796	25.208	0.400	51.827	0.500
14	158.404	94.631	19.712	13.665	24.313	0.400	49.987	0.500
15	160.831	95.417	15.083	13.809	26.028	0.400	53.513	0.500
16	167.697	96.376	6.969	13.969	27.779	0.442	57.114	0.552
17	97.940	110.988	9.042	16.323	24.145	163.908	49.643	204.885
18	147.057	102.282	11.332	14.162	24.580	7.629	50.536	9.536
19	65.946	106.089	15.245	17.387	12.844	47.708	26.407	59.635
20	-0.064	77.751	19.188	20.591	-0.285	0.429	-0.585	0.536
21	-0.064	64.414	16.589	20.972	0.000	0.000	0.000	0.000
22	107.937	99.095	11.565	15.829	28.837	147.108	59.289	183.885
23	166.520	99.373	13.026	14.008	32.433	0.400	66.683	0.500
24	165.993	99.269	14.068	14.049	31.974	0.400	65.738	0.500
25	161.434	100.684	13.371	14.111	31.235	4.992	64.220	6.240
26	69.334	108.045	15.598	17.579	15.045	39.321	30.933	49.151

FIGURA 6 – Valores de emissões da Usina Termelétrica de Araucária.

3.0 - INDICADORES OPERACIONAIS PARA UMA CENTRAL TERMELÉTRICA

3.1 Disponibilidade (AF)

A disponibilidade líquida representa o valor máximo efetivo de geração de uma Usina, considerando as restrições em um determinado período (1).

Outra definição é a de que a disponibilidade representa uma probabilidade em que uma unidade esteja disponível no momento em que seja necessária sua operação. Um bom valor para a disponibilidade seria o de 95% (2).

O Cálculo da disponibilidade é determinado pela seguinte fórmula (2):

$$AF = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{opi} + T_{ri})}{\sum_{i=1}^n T_{ci}} \times 100$$

$AF = \text{disponibilidade}$

$T_{op} = \text{tempo_de_operação_da_unidade}$

$T_{ri} = \text{tempo_de_parada_em_reserva}$

$T_{ci} = \text{tempo_de_calendário}$

3.2 Confiabilidade – R

A confiabilidade é definida como a probabilidade de um equipamento realizar as suas funções previstas de forma contínua, por um determinado tempo estabelecido, com condições operativas definidas (2).

Também é definido como confiabilidade como a probabilidade de que uma central elétrica não saia de operação por avarias durante tempo determinado. Um bom valor para a confiabilidade seria o de 99%. Para obtenção dos valores de confiabilidade é utilizada a seguinte fórmula (1):

$$R = 100 - FOF$$

$R = \text{confiabilidade}$

$FOF = \text{fator_de_tempo_de_paradas_por_a\ var\ ias}$

3.3 Fator de tempo de parada por avarias - FOF

O fator de tempo de parada representa um número de horas em que uma unidade estava parada por avaria em um determinado tempo (2):

$$FOF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ai}}{\sum_{i=1}^n T_{ci}} \times 100$$

$FOF = \text{fator_de_tempo_de_parada_por_a\ var\ ias}$

$T_{ai} = \text{tempo_de_parada_por_a\ var\ ia}$

$T_{ci} = \text{tempo_de_calendário}$

3.4 Taxa de Avarias - FOR

A taxa de avarias é determinada através da seguinte fórmula (2):

$$FOR = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ai}}{\sum_{i=1}^n (T_{opi} + T_{ai})} \times 100$$

$FOR = taxa_de_varias$

$T_{ai} = tempo_de_parada_por_a\ vari\ a$

$T_{opi} = tempo_de_opera\c{c}\~{a}_da_unidade$

3.5 Tempo médio de operação entre falhas e avarias - MTBF

O tempo médio de operação entre falhas e avarias é determinado através da seguinte fórmula (2):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{opi}}{\sum_{i=1}^n n_{FOi}}$$

$MTBF = tempo_m\acute{e}dio_de_opera\c{c}\~{a}_entre_falhas_e_a\ vari\ as$

$T_{opi} = tempo_de_opera\c{c}\~{a}_da_unidade$

$n_{FOi} = n\acute{u}mero_de_falhas_da_unidade$

3.6 Fator de operação - SF

O Fator de operação é determinado através da seguinte fórmula (2):

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n T_{opi}}{\sum_{i=1}^n T_{ci}} \times 100$$

$SF = fator_de_opera\c{c}\~{a}\~{o}$

$T_{opi} = tempo_de_opera\c{c}\~{a}_da_unidade$

$T_{ci} = tempo_de_calend\acute{a}rio$

4.0 - DADOS OPERACIONAIS DA USINA TERMELÉTRICA DE ARAUCÁRIA

Uma vez aplicado a metodologia de obtenção dos dados operacionais de uma central elétrica obtivemos as seguintes tabelas, que resumem os valores anuais:

4.1 Apresentação dos Dados da UTEARC

Indicadores 2007 (%)									
Unidade	AF (%)	FOF (%)	FOR (%)	SF (%)	R (%)	MTBF (h)	Nº de Partidas	Horas de Operação (h)	Nº de Avarias
CTG1	97,93	2,07	4,19	47,29	97,93	295:54	16	4142:44	14
CTG2	99,44	0,56	1,10	50,67	99,44	739:43	7	4438:20	6
STG	99,58	0,42	0,82	51,02	99,58	744:53	8	4469:20	6

FIGURA 7: Indicadores da Usina Termelétrica de Araucária no ano de 2007.

Indicadores 2008									
Unidade	AF (%)	FOF (%)	FOR (%)	SF (%)	R (%)	MTBF (h)	Nº de Partidas	Horas de Operação (h)	Nº de Avarias
CTG1	59,63	40,37	81,63	9,08	59,63	132:59	7	797:59	6
CTG2	68,22	6,67	17,32	31,85	93,33	699:22	8	2797:31	4
STG	69,83	30,17	48,54	31,98	69,83	936:14	11	2808:44	3

FIGURA 8: Indicadores da Usina Termelétrica de Araucária no ano de 2008.

Indicadores 2008 (%) - Corrigido									
Unidade	AF (%)	FOF (%)	FOR (%)	SF (%)	R (%)	MTBF (h)	Nº de Partidas	Horas de Operação (h)	Nº de Avarias
CTG1	95,24	4,76	37,52	7,92	95,24	119:20	7	477:23	4
CTG2	87,09	3,12	8,02	35,72	96,88	717:13	7	2151:41	3
STG	99,61	0,39	1,08	36,14	99,61	1088:23	8	2176:46	2

FIGURA 9: Indicadores da Usina Termelétrica de Araucária no ano de 2008, desconsiderando o evento do curto circuito no gerador da STG.

Legenda:

AF – Fator de disponibilidade.

FOF – Fator de tempo de parada por avarias.

FOR - Taxa de avarias - Relação entre tempo de operação e o tempo de avarias.

SF - Fator de operação - Percentagem de tempo que a unidade encontra-se em operação.

R – Confiabilidade.

MTBF - Tempo médio de operação entre falhas e avarias.

4.2 Análise dos Dados da Usina Termelétrica de Araucária

- A disponibilidade das unidades depende diretamente do tempo de parada por avarias da STG, além do seu próprio índice, comparando a figura 8 com a 9.
- Para a CTG1 o tempo entre as avarias é o maior, considerando como agravante o fato que esta unidade passou maior parte do tempo disponível em reserva;
 - O número de partidas e paradas permanece próximo dos valores apresentados entre 2007 e 2008;
 - Para o número de avarias o número também não apresentou alterações comparativamente entre os anos de 2007 e 2008.

CONCLUSÕES

Para o ano de 2007 a Usina Termelétrica de Araucária obteve um índice de disponibilidade médio de 98%, e tempo de geração médio de 50% deste valor. Uma queda em 2008 da disponibilidade média para 68%, e tempo de geração para 32%, justificam este estudo de caso.

O número de falhas praticamente permanece inalterado entre os anos comparados, no entanto sua gravidade aumentou e acarretou em um maior número de horas de indisponibilidade.

Os resultados apontaram que para esta instalação qualquer falha na Turbina a Vapor, que necessite parar seu eixo, afeta os indicadores de todas as outras unidades, uma vez que esta usina não consegue realizar By Pass dos gases da exaustão.

É possível realizar By Pass de Vapor, mas as válvulas são limitadas em 70%, forçando as Turbinas a Gás para 50% da geração, extrapolando os limites de emissões permissíveis.

Deve-se evitar qualquer parada indesejada com a Turbina a Vapor e também otimizar suas manutenções preventivas e corretivas.

Um bom controle dos parâmetros operacionais pode assegurar um menor tempo de parada desta unidade.

Complementa este estudo uma análise detalhada nos índices de monitoramento do ONS, prevendo um cálculo global para instalação pois não é possível desvincular as unidades geradoras.

REFERÊNCIAS

- (1) ONS – Operador Nacional do Sistema. Submódulo 20.1 – Glossário de Termos Técnicos. Disponível em http://www.ons.org.br/procedimentos/modulo_20.aspx. Acesso em set/2008.
- (2) LORA, E.E.S., NASCIMENTO, M.A.R., *et. al.* Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação. Volume 2. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.
- (3) Manual de Operação da Usina Termelétrica de Araucária.
- (4) Conselho Nacional de Meio Ambiente – Resolução CONAMA 2006.
- (5) Instituto Ambiental do Paraná – IAP 2008 – Portaria SEMA / IAP nº001.
- (6) VIEIRA, C.A.G., WOSNIACK, G.G. Sistema de Monitoramento Contínuo de Emissões – Características Técnicas e Operacionais. Artigo Técnico apresentado no VII ETOM. 2008.

DADOS BIOGRÁFICOS

Marcos de Freitas

Nascido em Curitiba, PR, em 20 de janeiro de 1974.

Graduado em Administração de Empresas pelas Faculdades Integradas do Brasil – Unibrasil (2008).

Técnico em Mecânica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET-PR (1992).

Empresa: Companhia Paranaense de Energia, desde 1994.

Supervisor de Operação da Usina Térmica de Araucária.

Jean Carlos Nunes Ferreira

Nascido em Guarapuava, PR, em 17 de Maio de 1970.

Técnico em Eletrotécnica pelo Colégio Técnico em Ituiutaba - MG

Empresa: Companhia Paranaense de Energia, desde 1994.

Supervisor de Operação da Usina Térmica de Araucária.