
Desempenho Operacional do Sistema de Transmissão CCAT de FURNAS no período 2000-2009

Sérgio do Espírito Santo *
Eletrobras Furnas
Brasil

Rosane de S. S. Dominguez
Eletrobras Furnas
Brasil

Marcelo Luiz Rivoli
Eletrobras Furnas
Brasil

Ronaldo Pacelli P. Santos
Eletrobras Furnas
Brasil

Sergio Luiz I. Gonçalves
Eletrobras Furnas
Brasil

Resumo – O Cigré, através do grupo AG B4.04, acompanha o desempenho operacional de Elos de Corrente Contínua no mundo inteiro desde a década de 60 através da coleta anual de dados. Este acompanhamento é feito através do preenchimento do relatório “Cigré Reliability Report”, com informações sobre energia disponível e utilizada e sobre saídas forçadas e programadas, entre outras. O Sistema de Transmissão CCAT de FURNAS (Itaipu) faz este acompanhamento do desempenho desde o início da sua operação, em meados da década de 80. Os dados recebidos pelo Cigré são divulgados através de um trabalho técnico, que é apresentado na Sessão Bienal do Cigré, em Paris, a cada dois anos. Adicionalmente, o desempenho operacional do Sistema CCAT de Furnas também foi divulgado através de alguns trabalhos técnicos preparados ao longo dos últimos 25 anos para seminários distintos [1,2] Neste sentido, este trabalho apresenta o desempenho operacional do Sistema CCAT de FURNAS no período compreendido entre 2000 e 2009.

Palavras - chave: Sistema HVDC de FURNAS, Sistema CCAT de FURNAS, Sistema HVDC de Itaipu, Sistema CCAT de Itaipu, Desempenho de Sistema HVDC, Desempenho de Sistema CCAT, Confiabilidade

1 INTRODUÇÃO

O Cigré, através do “Advisory Group” B4.04 do Comitê de Estudos SC B4 (“HVDC and Power Electronics Equipment”), coleta anualmente dados de desempenho dinâmico de elos de corrente contínua em operação no mundo. Os dados enviados pelas diversas empresas são utilizados na preparação, a cada dois anos, de um trabalho técnico para as diversas Sessões Bienais do Cigré, realizadas nos anos pares em Paris. Cada trabalho contempla o ano da Bienal anterior e o antecedente. Ou seja, o trabalho apresentado na Bienal de 2010 apresentou os dados do biênio 2007-2008.

O acompanhamento de desempenho é realizado através do preenchimento do relatório “Cigré Reliability Report”. Este relatório contém dados de energia disponível, energia utilizada, saídas forçadas e programadas e outros dados, que são coletados de acordo com um protocolo [1] preparado pelo AG B4.04. Atualmente, a última revisão deste protocolo, datada de 1997, está sendo revisada para incluir também o acompanhamento de desempenho de Sistemas VSC (sistemas CCAT utilizando outro tipo de válvulas tiristoras), que começaram a ser utilizados no mundo.

Em termos de Brasil, o Sistema de Transmissão CCAT de FURNAS (Itaipu), ou simplesmente Sistema CC de Furnas, faz este acompanhamento de desempenho desde o início da sua operação, em meados da década de 80. O relatório de desempenho “Cigré Reliability Report” é preparado anualmente e enviado ao Cigré. Adicionalmente, o desempenho operacional do Sistema CC de Furnas também foi divulgado através de alguns trabalhos técnicos preparados ao longo dos últimos 25 anos para seminários distintos [2,3].

Em dezembro de 2008 o comitê de estudos brasileiro CE B4 (Elos de Corrente Contínua e Eletrônica de Potência) do Cigré-Brasil criou um grupo-espelho do AG.04, denominado Grupo de Trabalho GT B4-04, de

modo a permitir uma melhor divulgar destes dados no Brasil. O relatório de performance do Sistema CC de Furnas passou a ser preparado também em português e as duas versões distribuídas aos membros do GT. Com isto, aumentou-se sobremaneira o número de canais disponíveis de distribuição desta informação, antes restrito quase que unicamente a pessoa responsável pela preparação do relatório.

O objetivo deste trabalho é apresentar o desempenho operacional do Sistema CC de Furnas nos últimos 10 anos, que compreende o período entre os anos de 2000 e de 2009. Este trabalho apresenta os dados dos Bipolos 1 e 2, no período considerado, referentes à energia disponível, energia utilizada, saídas forçadas, faltas nas linhas de transmissão CC e falhas de tiristores, entre outros. Adicionalmente, são apresentadas breves descrições das ocorrências mais severas do período.

2 DEFINIÇÃO DOS TERMOS E PARÂMETROS UTILIZADOS NO PROTOCOLO DO CIGRÉ

Este trabalho utiliza os mesmos termos e parâmetros definidos no Protocolo do Cigré [3]. Como o protocolo está escrito na língua inglesa, as abreviações iriginadas dos termos em inglês foram mantidas, porém os termos foram traduzidos. Os termos e parâmetros estão descritos de forma sucinta a seguir.

- Saída Forçada e Programada: corresponde ao período no qual o sistema CC está indisponível para operação por um evento associado ao equipamento CC. A linha CC é considerada em item separado. Saída programada (PM) é aquela que é realizada de acordo com um planejamento ou que é adiada para um momento oportuno. Saída forçada é aquela que ocorre por motivo de força maior, ou seja, sem nenhum planejamento.
- Capacidade máxima de transmissão (Pm) corresponde ao valor máximo em MW que pode ser transmitido continuamente. Redução da capacidade de transmissão (Po) corresponde à perda da capacidade de transmissão, caso o sistema estivesse transmitindo a potência máxima, ocasionada pela saída do equipamento. O fator de redução (ODF) é obtido pela divisão dos dois índices: $ODF = Po / Pm$. A duração efetiva da saída (AOD) é o tempo entre o início e o fim do evento. Já a duração equivalente da saída (EOD) é obtida pelo produto entre AOD e ODF, ou seja, $EOD = AOD \times ODF$.
- A duração efetiva da saída (AOD) é calculada considerando como referência o número total de horas do ano (PH), que é de 8760 horas ou 8784, no caso de ano bissexto. A partir da equação de EOD, pode-se também calcular a duração equivalente de saída forçada (EFOD) e a duração equivalente de saída programada (ESOD). O número de horas efetivas das saídas (AOH) é obtido pela soma de AOD. De modo semelhante, número de horas equivalentes das saídas (EOH) é obtido pela soma de EOD.
- A indisponibilidade de energia (EU) corresponde ao percentual do tempo que não houve disponibilidade para transmitir a capacidade máxima da transmissão e é obtida pela divisão do número de horas equivalentes das saídas (EOH) pelo número total de horas do ano (PH), multiplicado por 100 para se ter os valores percentuais. Equações similares permitem o cálculo da indisponibilidade forçada de energia ($FEU(\%) = (EFOH/PH) \times 100$) e da indisponibilidade programada ($SEU(\%) = (ESOH/PH) \times 100$). Disponibilidade de energia (EA) é o tempo total menos o tempo em que houve indisponibilidade, ou seja, $EA = 100 - EU$.
- Energia utilizada (U) o fator correspondente ao percentual da capacidade máxima de transmissão (PM) que foi transmitida ao longo do ano. Em termos de equação, temos: $U(\%) = ((\text{energia total transmitida}) / (Pm + PH)) \times 100$. Considera-se o mesmo valor de U para os dois bipolos do Sistema CC de Furnas.

Existem diversas categorias para classificar os equipamentos e falhas que causaram as saídas forçadas e programadas. Estas categorias estão apresentadas a seguir.

- **AC-E** (Equipamentos CA e Equip. Auxiliares): Abrange todas as saídas causadas por equipamentos CA da estação. Esta categoria é subdividida em AC-E.F (Filtros CA e Bancos Shunt); em AC-E.CP (Controle e Proteção CA); em AC-E.TX (Transformadores Conversores); em AC-E.SC (Compensadores Síncronos); em AC-E.AX (Equipamentos e Fontes Auxiliares) e em AC-E.SW (Outros Equipamentos do pátio CA).
- **V** (Válvulas): Abrange todas as saídas causadas por equipamentos associados às válvulas. Esta categoria é subdividida em V.E (Parte Elétrica) e em V.VC (Sistema de Resfriamento).
- **C-P** (Equipamentos CC de Controle e Proteção): Abrange todas as saídas causadas por sistemas de controle e de proteção do lado CC, incluindo medição. Esta categoria é subdividida em C-P.L (Controle e Proteção Local); em C-P.M (Proteção e Controle Mestre) e em C-P.T (Sistema de Telecomunicação do Controle e da Proteção).

- **DC-E** (Principais Equipamentos CC): Abrange todas as saídas causadas pelos principais equipamentos CC e que não considerados nas categorias anteriores. Esta categoria é subdividida em DC-E.F (Filtros CC); em DC-E.SR (Reator de Alisamento); em DC-E.SW (Equipamentos CC para chaveamento); em DC-E.GE (Eletrodo de Terra); em DC-E.EL (Linha do Eletrodo de Terra) e em DC-E.O (Outros Equipamentos do Pátio CC e da Sala de Válvulas)
- **O** (Outros): Abrange todas as saídas causadas por erros humanos ou causas desconhecidas.
- **TL** (Linha CC): Abrange todas as saídas causadas por faltas nas linhas de transmissão CC.
- **EXT** (Externas): Abrange todas as saídas causadas por faltas externas, ou seja, no sistema CA.

3 SISTEMA CC DE FURNAS

O Sistema CC de Furnas é responsável pela transmissão da energia gerada pelas unidades geradoras de 50 Hz de Itaipu. Ele é composto por dois bipolos de 3150 MW e ± 600 kVdc [4]. Cada bipolo é formado por dois pólos de dois conversores ligados em série. A corrente nominal é de 2625 A, com uma corrente máxima de curta duração (sobrecarga) de 3680 A (1.4 pu) por 5 segundos. Em condição de sobrecarga a potência do bipolo pode alcançar 4416 MW.

Cada estação tem 24 transformadores conversores monofásicos de três enrolamentos. O banco trifásico é formado pela ligação de três unidades monofásicas, em arranjo estrela e delta no lado da válvula conversora (enrolamento secundário e terciário). A válvula conversora é formada por três quadriválvulas, sendo que cada válvula tem 8 módulos com 12 tiristores cada. Cada bipolo tem 9216 tiristores no total.

O Bipolo 1 entrou em operação comercial antes do Bipolo 2, sendo que o primeiro conversor começou a operar no dia 8 de outubro de 1984. O Bipolo 1 estava completo (todos os conversores em operação) em maio de 1986. Todos os conversores do Bipolo 2 estavam operando a partir do dia 15 de agosto de 1987.

No lado retificador cinco bancos de filtros CA fornecem 1540 Mvar de potência reativa, que são usados para suporte de reativo e filtragem harmônica. Já no lado inversor há dez bancos de filtros CA e dois bancos de capacitores shunt, resultando em um total de 3070 Mvar para o suporte de reativo e filtragem harmônica. Além disso, estão disponíveis quatro compensadores síncronos de +300/-200 Mvar. No lado CC de cada estação tem 3 bancos de filtros sintonizados no 2º/6º harmônico, 12º harmônico e passa-alta, respectivamente.

A Figura 1 apresenta o diagrama simplificado do Sistema CC de Furnas.

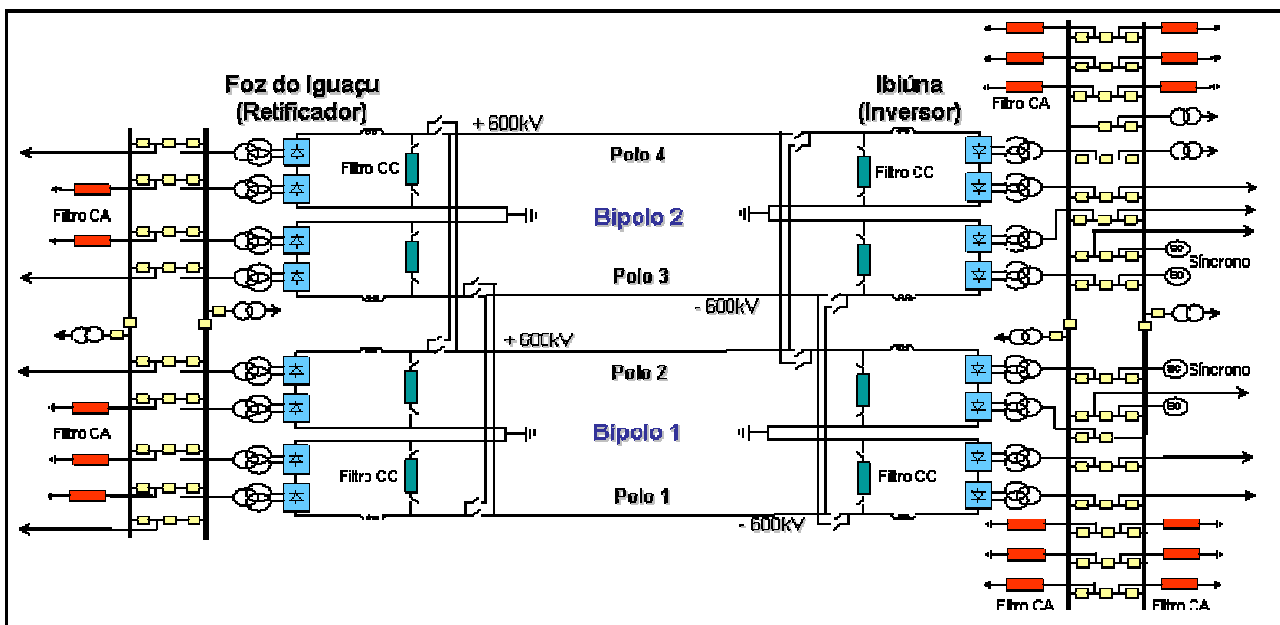


Figura 1– Diagrama Unifilar Simplificado do Sistema de Transmissão CCAT de FURNAS (Itaipu)

4 DESEMPENHO DO SISTEMA CC DE FURNAS

O desempenho geral de um sistema CC, e, de uma forma geral, de um equipamento, é retratado pelos índices de indisponibilidade forçada e programada. Dependendo das regras às quais cada projeto está submetido, o índice de indisponibilidade programada tem menor ou maior importância. De qualquer modo, mesmo quando este índice não tem muita importância, ele certamente influencia o índice de indisponibilidade forçada à medida que quanto melhor a manutenção preventiva, menor o risco de saídas forçadas.

No caso do Sistema CC de Furnas, a indisponibilidade forçada, ou seja, causada por saídas forçadas é o índice mais importante para retratar o desempenho dele. O Sistema CC de Furnas não faz parte da rede básica e, portanto, as manutenções necessárias podem ser realizadas sem nenhuma restrição de tempo, devendo ser programadas para períodos adequados para o Sistema Elétrico Brasileiro, ou seja, nos períodos em que as paradas não causem nenhuma limitação na transmissão de potência.

Para permitir uma visão global do desempenho dos bipolos do Sistema CC de Furnas nos últimos 10 anos, os principais índices são apresentados nas tabelas a seguir. Os valores apresentados na Tabela 1 correspondem a disponibilidade de energia dos dois bipolos, em valores percentuais, sem considerar os efeitos de possíveis indisponibilidades das linhas de transmissão no período.

Tabela 1 - Disponibilidade de Energia (%) - Sem LT

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Itaipu BP1	97,7	97,1	98,0	97,8	97,5	95,4	96,6	96,5	97,6	90,9
Itaipu BP2	97,3	97,5	96,4	98,3	88,8	97,6	96,5	95,8	97,4	95,8

A Tabela 2 apresenta os valores percentuais de indisponibilidade das estações ocasionados pelas saídas programadas, com base nas mesmas considerações.

Tabela 2 - Indisponibilidade Programada de Energia (%) - Sem LT

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Itaipu BP1	2,24	2,68	1,63	1,66	2,12	3,06	3,00	3,31	2,20	7,21
Itaipu BP2	2,64	2,40	2,81	1,44	1,82	2,32	3,32	4,17	2,51	4,22

As duas tabelas a seguir, Tabela 3 e Tabela 4, apresentam os valores de indisponibilidade correspondentes às saídas forçadas e o índice de indisponibilidade forçada das linhas CC, respectivamente.

Tabela 3 - Indisponibilidade Forçada de Energia (%) - Sem LT

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Itaipu BP1	0,05	0,26	0,36	0,52	0,39	0,18	0,41	0,22	0,15	1,85
Itaipu BP2	0,05	0,10	0,79	0,29	9,36	0,10	0,14	0,01	0,12	0,33

Tabela 4 - Indisponibilidade de Linhas de Transmissão (%)

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Linha Bipolo 1	0,000	0,001	0,007	0,000	0,013	1,333	0,000	0,000	0,002	0,000
Linha Bipolo 2	0,000	0,002	0,052	0,000	0,000	0,001	0,005	0,001	0,000	0,000

Adicionalmente, as causas das saídas forçadas podem ser analisadas com relação à categoria do equipamento, conforme classificação do Cigré, descrita no Item 2. . A Tabela 5 apresenta estes números em termos de número de horas equivalentes de saídas forçadas por categoria. É bom ressaltar que todos os valores apresentados são relativamente baixos. Mesmo assim, três valores destoam dos outros. Eles estão destacados em vermelho.

Tabela 5 - Horas Equivalentes de Saídas Forçadas por Categoria

		AC - E		V		C - P		DC - E		O		TL		TOTAL c/TL		TOTAL s/TL	
		N	Hours	N	Hours	N	Hours	N	Hours	N	Hours	N	Hours	N	Hours	N	Hours
2000	BP1	3	3,41	0	0	1	0,41	0	0	3	0,38	2	0,04	9	4,24	7	4,2
	BP2	2	1,58	0	0	2	2,26	0	0	2	0,28	0	0	6	4,12	6	4,12
2001	BP1	3	7,05	2	9,83	8	3,73	0	0	2	2,01	2	0,12	17	22,74	15	22,62
	BP2	0	0	0	0	1	0,36	8	7,13	1	1,44	2	0,21	12	9,14	10	8,93
2002	BP1	3	19,68	0	0	6	4,53	4	7,35	0	0	3	0,61	16	32,17	13	31,56
	BP2	5	55,68	0	0	4	2,26	4	9,45	1	2,09	2	4,56	16	74,04	14	69,48
2003	BP1	4	34,98	0	0	8	10,9	0	0	0	0	0	0	12	45,88	12	45,88
	BP2	2	7,53	0	0	6	4,07	1	0,76	2	13,3	0	0	11	25,66	11	25,66
2004	BP1	1	12,95	0	0	9	7,22	2	13,84	1	0,04	4	1,17	17	35,22	13	34,05
	BP2	7	817,06	0	0	2	3,75	1	1,16	1	0,04	0	0	11	822,01	11	822,01
2005	BP1	3	5,25	0	0	8	6,11	4	4,04	0	0	2	116,78	17	132,18	15	15,4
	BP2	2	1,55	0	0	3	2,91	1	3,76	1	0,48	1	0,12	8	8,82	7	8,7
2006	BP1	4	33,82	0	0	3	1,68	0	0	0	0	0	0	7	35,50	7	35,5
	BP2	0	0	1	1,65	5	8,2	1	2,85	0	0	1	0,4	8	13,10	7	12,7
2007	BP1	5	9,96	0	0	3	9,17	0	0	3	0,16	0	0	11	19,29	11	19,29
	BP2	1	0,25	0	0	0	0	1	0,78	0	0	1	0,09	3	1,12	2	1,03
2008	BP1	6	4,15	0	0	3	1,62	1	7,32	1	0,08	3	0,20	14	13,37	11	13,17
	BP2	3	9,60	0	0	1	1,16	0	0	0	0	0	0	4	10,76	4	10,76
2009	BP1	1	2,12	5	159,38	1	0,09	0	0	1	0,16	0	0,00	8	161,75	8	161,75
	BP2	3	27,61	1	0,82	1	0,19	0	0	2	0,3	1	0,03	8	28,96	7	28,93

Com base nestas tabelas, dois gráficos foram preparados. O primeiro gráfico está apresentado na Figura 2 e mostra o efeito das diversas categorias no número de horas equivalentes das saídas forçadas, incluindo a influência das linhas de transmissão CC. Do mesmo modo, o segundo gráfico, Figura 3, apresenta o efeito das diversas categorias só que agora considerando a frequência das saídas forçadas.

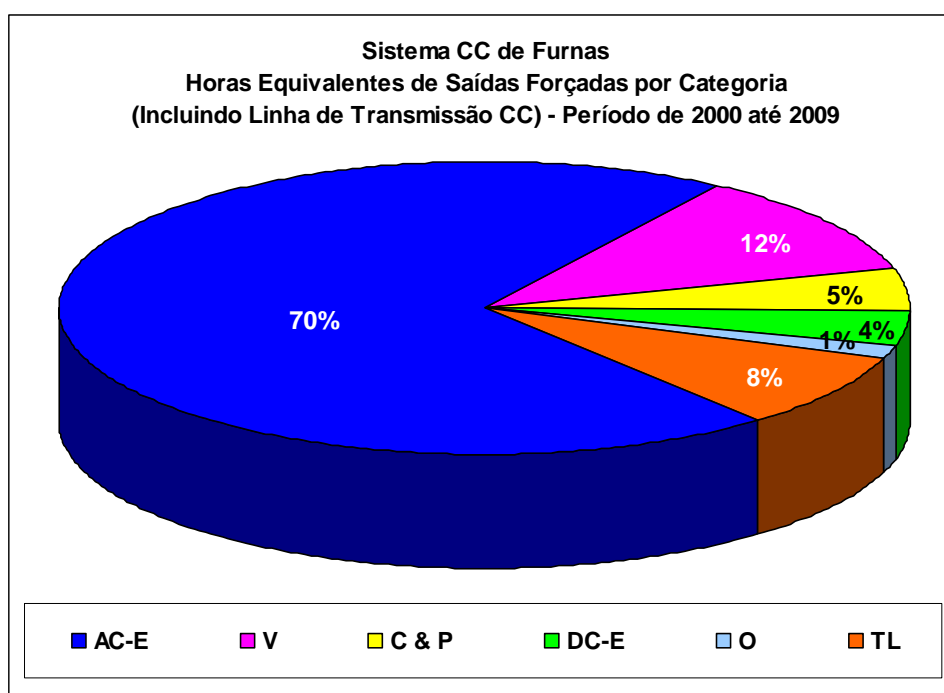


Figura 2 - Horas equivalentes das saídas forçadas por categoria

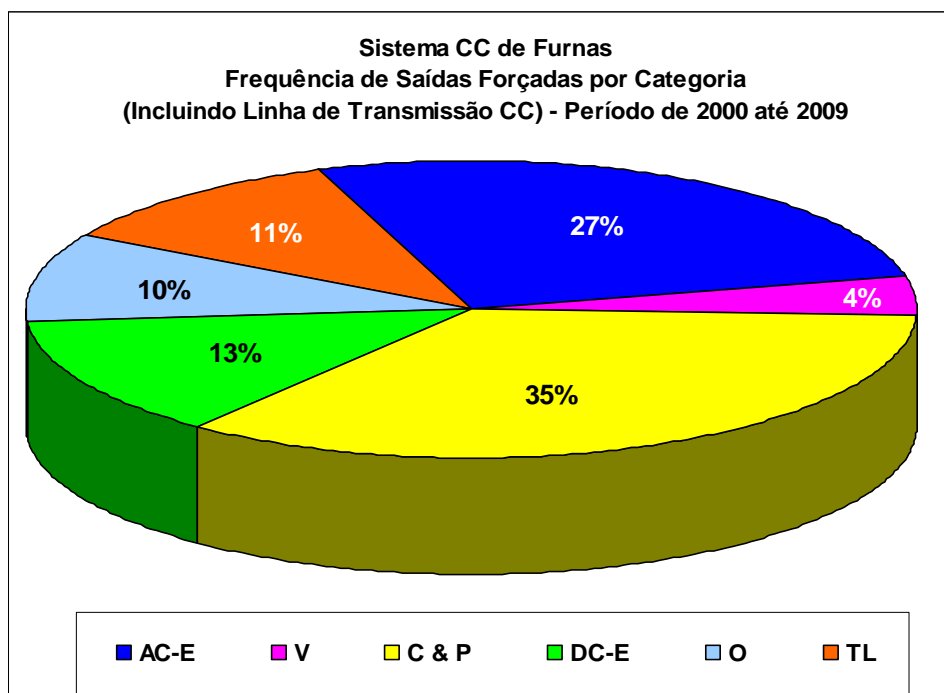


Figura 3 - Horas equivalentes das saídas forçadas por categoria

5 PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS NO PERÍODO

Na Tabela 5 três células foram destacadas em vermelho: o valor do Bipolo 2 em 2004 relativo a equipamentos CA; o valor do Bipolo 1 em 2005 relativo a linha de transmissão CC; o valor do Bipolo 1 em 2009 relativo a válvulas tiristoras. Estes valores têm um ponto em comum: problemas em equipamentos específicos ocasionaram aumento dos índices para valores destoantes dos números normalmente encontrados nos anos em questão

Em 2004, dois problemas em transformadores conversores ocasionaram a indisponibilidade de um conversor por um período total de 3253,17 horas, causando uma indisponibilidade de 9,26 % no bipolo 2. No dia 16 de julho o transformador conversor 5 de Foz do Iguaçu apresentou problemas. Como não havia unidade reserva de transformador conversor disponível, o conversor 5 ficou indisponível até o dia 25 de outubro. Em termos de horas, foram 2393,82 horas de indisponibilidade, ou 598,5 horas equivalentes. Este período ocasiona uma indisponibilidade de 6,8 % no bipolo. O segundo problema ocorreu no dia 10 de novembro. Neste caso, transformador conversor 7 de Foz do Iguaçu apresentou problemas e causou a indisponibilidade do conversor 7 até o dia 16 de dezembro, já que nesta ocasião também não tinha unidade reserva disponível. Foram 859,35 horas de indisponibilidade, ou 214,8 horas equivalentes e uma indisponibilidade de 2,4 %. Por não haver unidade reserva de transformador conversor disponível, estas duas ocorrências foram responsáveis por 813,3 horas de indisponibilidade.

Em 2005, no dia 4 de setembro, fortes ventos derrubaram 1 torre e danificaram 2 outras torres da linha de transmissão CC do bipolo 1. Foram necessários quase 5 dias para o conserto e ela foi liberada para a operação no dia 9 de setembro. Mesmo considerando que neste período o bipolo 1 pôde transmitir potência através da linha do bipolo 2, de acordo com as regras, em termos de desempenho, este distúrbio ocasionou 116,73 horas de indisponibilidade e resultou em 1,3 % de indisponibilidade do bipolo 1.

No dia 13 de março de 2009 houve um princípio de incêndio na casa de válvulas do conversor 3 de Foz do Iguaçu. O incêndio foi causado por um pequeno vazamento na tubulação da refrigeração da válvula. A fibra ótica utilizada na válvula conversora queimou e precisou ser trocada. O reparo, que consistiu na troca da fibra ótica e na verificação do circuito de refrigeração da válvula, foi concluído no dia 9 de abril, resultando em 158,6 horas equivalentes de indisponibilidade (634,3 horas reais) e prejudicou em 1,8 % o índice de disponibilidade do bipolo 1.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

Com o advento de novos projetos de CCAT no Brasil, o índice de indisponibilidade passou a despertar muita atenção e preocupação para as pessoas e empresas envolvidas nesta área. De acordo com a especificação do Projeto Madeira, os bipolos 1 e 2 devem apresentar uma disponibilidade maior ou igual que 99%, o que corresponde a um índice de indisponibilidade máximo de 1%. Na prática, para se verificar a possibilidade de obtenção deste nível de indisponibilidade, houve um interesse em saber qual foi a disponibilidade de Itaipu ao longo dos 25 anos de operação.

Na verdade, o índice de indisponibilidade é o principal número de um equipamento e que, de uma forma geral, melhor e mais rapidamente expressa o desempenho dele, ou o desempenho que se espera dele. Entretanto, é importante ressaltar que este desempenho precisa ser verificado tomando certos cuidados e considerando o ambiente e as regras nos quais cada projeto está submetido. Por exemplo, como o Sistema CC de Furnas não faz parte da rede básica, o principal objetivo da manutenção preventiva é a busca da operação com indisponibilidade forçada de 0 %, ou seja, eliminação ou a redução máxima da indisponibilidade causada por saídas forçadas. Em contrapartida, este procedimento acaba, naturalmente, ocasionando um índice maior de indisponibilidade causada por saídas programadas. Porém, no projeto em questão isto não causa nenhum inconveniente. É até vantajoso, já que as manutenções são realizadas em momento oportuno, sem causar prejuízo à operação do sistema e acabam evitando ocorrências não controladas e que, portanto, poderiam acontecer em qualquer hora, inclusive no horário de pico de consumo. Conseqüentemente, quando se verifica os valores de disponibilidades dos bipolos na última década, apresentados na Tabela 1, todos os valores estão abaixo de 99 %. Entretanto, fazendo uma análise mais apurada através dos dados de indisponibilidade forçada apresentados na Tabela 3, pode-se observar que estes valores são muito baixos, exceto em 2004 para o bipolo 2 e em 2009 para o bipolo 1. Nestas datas os fatos já descritos no item 5 acabaram ocasionando este mau desempenho.

Complementarmente, em termos contratuais, a manutenção programada do Sistema CC de Furnas contribui com o valor de indisponibilidade de 0,28 % no cálculo da indisponibilidade do sistema. Em outras palavras, o tempo necessário para a realização das manutenções programadas no Elo CC anualmente ocasionariam este índice de indisponibilidade e tempos superiores a este não foram considerados durante o período de garantia, por haver o entendimento de que tempos superiores para manutenção ocorreriam apenas por conveniência operativa e de manutenção. A Tabela 6 apresenta a disponibilidade contratual dos bipolos. Neste caso, de forma muito próxima a indisponibilidade forçada, todos os valores são inferiores a 1 %, excetuando-se os índices do bipolo 2 em 2002 (por pouca diferença) e em 2004 e o índice do bipolo 1 em 2009.

Tabela 6 - Indisponibilidade de Energia (%) - Valores Contratuais

Sistema	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Itaipu BP1	0,33	0,54	0,64	0,80	0,67	0,46	0,69	0,50	0,43	2,13
Itaipu BP2	0,33	0,38	1,07	0,57	9,64	0,38	0,42	0,29	0,40	0,61

Estes números demonstram que, pelo menos para o Sistema CC de Furnas, durante boa parte de sua operação uma indisponibilidade igual ou inferior a 1 % seria possível de ser atingida, caso este valor fosse importante para o empreendimento...

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer todos os colegas de Furnas que colaboram na coleta dos dados necessários para a preparação do Relatório Anual de Desempenho do Sistema CC de Furnas, em especial Saulo José Lemes, Paulino Nitihiro Suzuki, Clézio Antônio Thomaz, Eliseu Cesar Dacorso Brites, Carlos Antônio Aoun, José Kazuo Matsushita e Bianca de Barcelos Rodrigues.

8 REFERÊNCIAS

- [1] CIGRE Study Committee B4, “Protocol for Reporting the Operational Performance of HVDC Transmission Systems”, 14-97 (WG04)-21 (em inglês)
- [2] A. A. S. Praça, H. Arakaki, “Operating Experience of the Itaipu HVDC Transmission System and its Reliability”, Third Conference on HVDC System Operation, Winnipeg, Canada, May 13-15, 1992 (em inglês)
- [3] A. A. S. Praça, H. Arakaki, K. Eriksson, J. Graham, G. Biledt, “Itaipu HVDC Transmission System – 10 Years Operational Experience”, ABB TGP Transmission Symposium, Wuhan, China, November 21-23, 1995 (em inglês)
- [4] CIGRE B4, AG 04, “Compendium of HVDC Systems Around the World”, June 2009 (em inglês). Disponível em www.cigre-b4.org