



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

GSC 19
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO X

GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO – GSC

ESTUDO DE TENSÕES TRANSITÓRIAS DE ALTA FREQUÊNCIA PARA SUBSIDIAR O DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS DAS FALHAS DE REATORES DE 500kV

Antonio Roseval F. Freire * **Miguel Carlos Medina Pena**

José Carlos Mendes

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF

Asea Brown Boveri Ltda – ABB

RESUMO

Algumas falhas de reatores de linha na subestação Luiz Gonzaga motivaram o desenvolvimento de um estudo de transitórios eletromagnéticos para avaliar a possibilidade de uma interação transitória com o sistema. Nos estudos foram calculadas as tensões transitórias nos terminais de alta tensão e de neutro, e em pontos internos dos reatores, geradas por vários eventos ou manobras, utilizando um modelo detalhado do reator, da subestação e dos barramentos de neutro, de acordo com o arranjo físico real. As solicitações calculadas foram comparadas com as aplicadas nos ensaios dielétricos realizados em laboratório com as formas de onda padronizadas.

PALAVRAS-CHAVE

Interação Transitória, Falha de Reatores, Ressonância Parcial do Enrolamento, Modelos de Reatores, Resposta em Frequência.

1.0 - INTRODUÇÃO

As subestações Luiz Gonzaga e Milagres 500kV têm arranjo em disjuntor e meio e são interligadas por uma linha de transmissão com extensão de 230km. Esta linha de transmissão é compensada por reatores em derivação fixos nos dois terminais, sendo dois bancos no terminal da subestação Luiz Gonzaga e um banco no terminal da subestação Milagres. Além disso, na subestação Milagres existe um banco de reatores de barra manobrável, com as mesmas características dos bancos de linha, que é utilizado para o controle de tensão do sistema. A Figura 1-(a) mostra um diagrama simplificado das instalações em análise.

Os bancos de reatores são constituídos de unidades monofásicas de 550kV / 40Mvar de mesmo fabricante e projeto, que foram especificadas de acordo com as normas técnicas atuais e submetidas aos ensaios dielétricos em laboratório com as formas de onda padronizadas. Esses reatores são protegidos por pára-raios de óxido de zinco com tensão nominal de 420kV, dimensionados de acordo com as práticas convencionais de coordenação de isolamento. Os terminais de neutro das unidades que constituem um banco, e da unidade reserva, são aterrados e interligados através de barramentos em tubo de alumínio e cabos aéreos, conforme Figura 1-(b).

A linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres 500kV entrou em operação em carga em fevereiro de 2002, com os respectivos reatores de linha, mas o reator de barra na subestação Milagres só foi energizado em julho de 2003. No ano de 2005 foram registradas três ocorrências com atuação do relé de gás e danificação de três unidades dos bancos de reatores de linha E3 e E4 na subestação Luiz Gonzaga, com reflexos significativos nos indicadores de disponibilidade e com redução da flexibilidade para o controle de tensão e para a recomposição do sistema. A Tabela I apresenta uma síntese das informações sobre as ocorrências.

(*) Rua Delmiro Gouveia, 333, Anexo II - DCO - Bloco A - Sala A314 - CEP 50761-901 - Recife - PE – Brasil.
Tel.: (81) 3229-4048 - Fax: (81) 3229-4058 - e-mail: roseval@chesf.gov.br

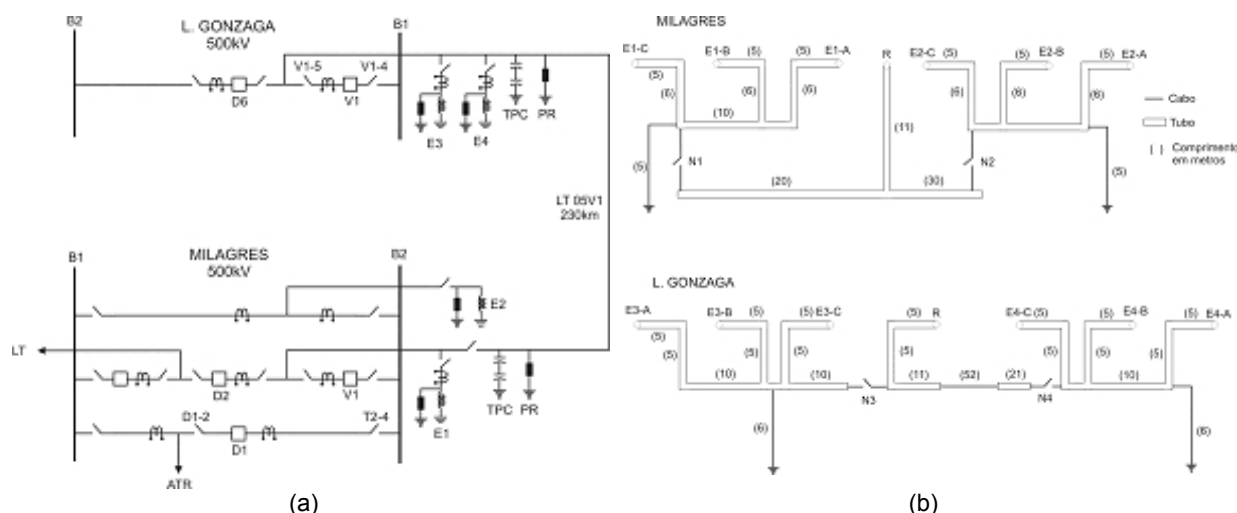


FIGURA 1 – Diagrama unifilar e arranjo das conexões de neutro das instalações analisadas

TABELA 1 – Dados das ocorrências envolvendo os reatores na SE Luiz Gonzaga 500kV

<i>Dia da ocorrência</i>	<i>31/03/2005</i>	<i>02/04/2005</i>	<i>29/12/2005</i>
Evento	Desligamento automático da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres 500kV, com tempo chuvoso na região.	Desligamento automático da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres 500kV, cerca de 40 minutos após a sua energização.	Desligamento automático da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres 500kV, imediatamente após a sua energização.
Operação dos bancos	Unidade reserva operando na posição E3-B e banco E4 normal.	Unidade reserva operando na posição E4-C e Banco E3 normal.	Banco E3 desenergizado e isolado e banco E4 normal.
Proteções atuadas	Relé de distância nos dois terminais e relé de gás para o reator E4-C.	Relé de gás para o reator E3-B.	Relé de gás para o reator E4-C.
Reator danificado	Posição E4-C	Posição E3-B	Posição E4-C

Na inspeção realizada no reator E4-C, danificado após a primeira ocorrência, foram observadas alterações de coloração e granulações nos condutores do grupo inferior do enrolamento, sugerindo um possível fenômeno de oxidação por enxofre corrosivo, tendo sido coletadas amostras de condutores isolados para a análise em laboratório. A análise do óleo em laboratório indicou tendência de corrosividade, mas não foi identificado nos condutores e no isolamento a presença de enxofre corrosivo. Apesar dos resultados dos testes em laboratório, como medida preventiva foi aplicado o passivador no óleo dos referidos reatores. Nas análises da ocorrência do dia 02/04/2005, foi detectado alto grau de acetileno no reator E3-B danificado e a inspeção realizada no local constatou uma ruptura de origem mecânica por esmagamento da cordoalha de ligação do aterramento da blindagem eletrostática da coluna central do núcleo, com sinais de descargas localizadas.

Ressalta-se que o fabricante forneceu 19 unidades de reatores de mesmo projeto que estão em operação em três subestações do sistema de transmissão da Chesf desde 1999, e até a presente data só existem registros de falhas na subestação Luiz Gonzaga.

2.0 - SIMULAÇÕES DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS COM O ATP/EMTP

Para subsidiar a análise das ocorrências e o diagnóstico das falhas com causa não identificada, foram realizadas várias simulações de transitórios eletromagnéticos com o ATP/EMTP, para as subestações Luiz Gonzaga e Milagres, visando uma comparação das solicitações impostas aos reatores de mesmo projeto, instalados em diferentes subestações.

2.1 Modelo das Subestações e do Sistema de Transmissão

O setor de 500kV das subestações Luiz Gonzaga e Milagres foi representado detalhadamente utilizando as características dos equipamentos de 500kV, as informações do arranjo físico, planta e cortes, obtidas do projeto eletromecânico, e incluindo as linhas de transmissão de 500kV com equivalentes nos terminais remotos, representados por fontes de tensão em série com uma matriz de impedâncias de surto. De uma forma geral foram utilizados os modelos descritos nas referências (1), (2) e (3).

Nas simulações de descargas atmosféricas, a linha de transmissão atingida foi representada com o modelo de linha não transposta do ATP, incluindo uma representação explícita dos cabos de fase e dos cabos pára-raios, com parâmetros distribuídos calculados para uma frequência de 100kHz. Foram representadas as primeiras cinco torres mais próximas da subestação, sendo cada torre modelada por uma linha de transmissão monofásica com impedância de surto e velocidade de propagação, e o aterramento por uma impedância de surto. As cadeias de isoladores foram representadas como centelhadores com tensão de disparo constante. Os surtos atmosféricos foram modelados como uma fonte de corrente descrita por uma função do tipo Heidler, com frente de onda côncava. Nas descargas diretas nos cabos de fase, foi utilizada a forma de onda 1,2/50us para representar surtos que se propagam na linha e atingem a subestação, com amplitude tal que não causa descarga nas cadeias de isoladores. Para as simulações de descargas indiretas que incidem no topo da torre, foi utilizada a forma de onda 4/100us com amplitude 200kA, para representar uma corrente de descarga com baixa probabilidade de ser excedida.

Nas simulações também foram representados os arranjos físicos dos barramentos de neutro dos reatores, conforme Figura 1-(b), com várias combinações quanto ao estado de operação (aberto / fechado) das chaves de transferência da unidade reserva (N1, N2, N3 e N4) e quanto à posição de operação desta unidade. Os vários trechos de barramentos em tubos e ou cabos foram representados por linhas de transmissão de parâmetros distribuídos, calculados para uma frequência de 100kHz de forma a representar algum efeito da variação dos parâmetros com a frequência.

2.2 Características de Projeto e Modelo dos Reatores

Os reatores em derivação de 550kV / 40Mvar são unidades monofásicas com nível de isolamento correspondente a uma tensão suportável de impulso atmosférico de 1550kV no terminal H1 e 350kV no terminal H0. O enrolamento dos reatores tem uma entrada central (H1) e é composto de dois grupos ligados em paralelo, sendo que cada grupo contém 90 bobinas (45 bobinas duplas), conforme Figura 2. Cada grupo é constituído de subgrupos de bobinas duplas de disco entrelaçado (DE), de disco contínuo com blindagem interna (DS) e de disco contínuo (DC).

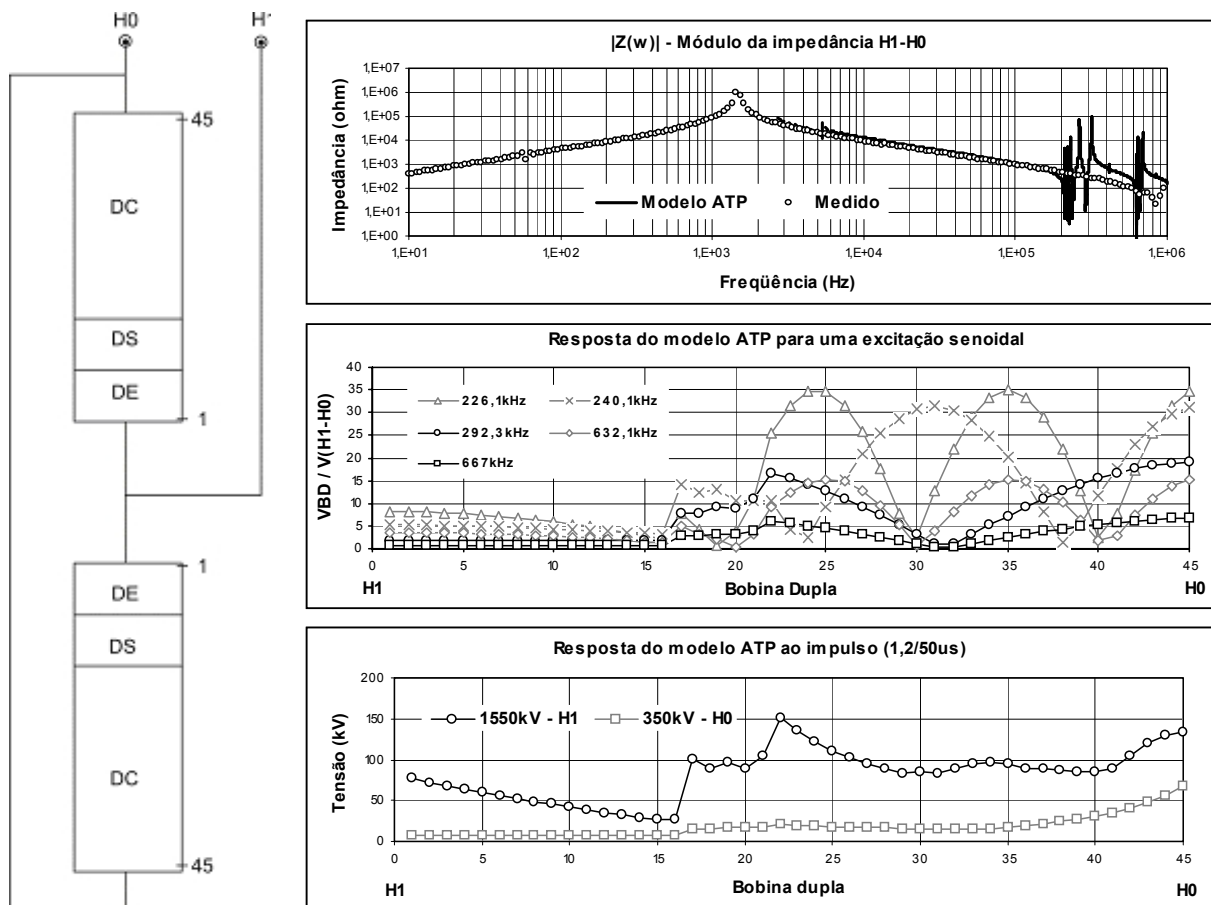


FIGURA 2 – Características de projeto do reator de 550kV / 40Mvar

Nas simulações foi utilizado um modelo detalhado do reator, fornecido pelo fabricante, que reproduz o arranjo físico do enrolamento, incluindo as capacitâncias transversais e longitudinais, resistências, indutâncias e comprimento dos condutores das bobinas, bem como as capacitâncias das buchas H1 e H0 e a impedância série dos “leads” para conexão das buchas. Este modelo foi implantado no ATP com representação de cada bobina dupla do enrolamento, utilizando os modelos de parâmetros concentrados e de linha de transmissão de parâmetros distribuídos. A Figura 2 mostra a impedância em função da frequência calculada com o modelo do ATP e medida no campo. Nas frequências acima de 200kHz são observadas diferenças importantes, que podem ser explicadas pelas diferentes taxas de amostragem utilizadas e também pelos aspectos de aterramento do terminal de neutro (H0).

Com o modelo implantado no ATP foi possível calcular a distribuição de tensão nas bobinas duplas e para a terra ao longo do enrolamento, para aplicações de impulsos com formas de onda padronizadas ou sinais senoidais nos terminais H1 e H0, com o outro terminal solidamente aterrado. A Figura 2 mostra a distribuição de tensão calculada nas bobinas duplas para sinais senoidais com frequências nas faixas de 200-300kHz e 600-700kHz. Nessas faixas de frequências existem ressonâncias parciais do enrolamento que provocam elevadas sobretensões em determinados pontos. A amplitude da solicitação e a localização das bobinas mais solicitadas dependem da frequência do sinal senoidal aplicado. A Figura 2 também mostra a distribuição de tensão nas bobinas duplas para impulsos com a forma de onda 1,2/50us, aplicados nos terminais H1 e H0 com amplitude de 1550kV e 350kV, respectivamente.

As inspeções realizadas na primeira e na terceira unidades avariadas, nas ocorrências do dias 31/03/2005 e 29/12/2005, indicaram ruptura por descarga elétrica da isolação entre espiras no grupo paralelo inferior, adjacente à transição entre os subgrupos DE e DS, e ruptura por descarga elétrica entre condutores de bobinas adjacentes, na saída da ligação do ponto neutro do grupo paralelo superior, respectivamente.

2.3 Casos Simulados e Procedimentos

Nas simulações foram calculadas as tensões transitórias fase-terra no terminal H1 dos reatores, e as tensões transitórias ao longo do enrolamento, para a terra e nas bobinas duplas, para os reatores das subestações Luiz Gonzaga e Milagres. Utilizando a transformada integral de Fourier foram calculados os espectros de frequências das tensões transitórias do terminal H1 para a terra (4). Foram simulados os seguintes eventos :

- (a) Manobras de chaves seccionadoras com abertura do primeiro pólo da chave e reacendimento do arco no instante correspondente à máxima diferença de tensão entre seus terminais. Este tipo de manobra pode causar solicitações do tipo múltiplos impulsos devido à sucessão de interrupções de corrente e reacendimentos, durante o tempo de arco;
- (b) Curto-circuito na entrada da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres, no instante de tensão máxima na fase sob defeito;
- (c) Energização em vazio da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres, utilizando disjuntor com e sem resistor de pré-inserção de 400Ω;
- (d) Energização do reator de barra na subestação Milagres, utilizando disjuntor com e sem resistor de pré-inserção de 400Ω;
- (e) Descargas atmosféricas incidentes na torre mais próxima da subestação Luiz Gonzaga, considerando a linha em carga ou com os respectivos disjuntores abertos. Foi considerada a influência da tensão de operação de frequência industrial.

Em todos os casos simulados considerou-se a máxima tensão operativa (550kV) nas barras e a configuração mais provável ou de operação normal da subestação, com todos os equipamentos e linhas de transmissão disponíveis.

3.0 - PRINCIPAIS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

3.1 Tensões Transitórias nos Terminais dos Reatores

Nas simulações de descargas atmosféricas incidentes na linha de transmissão Luiz Gonzaga - Milagres 500kV, o caso mais severo corresponde a uma descarga indireta no topo da torre com os disjuntores V1 e D6 do terminal de Luiz Gonzaga abertos. Neste caso o reator mais solicitado é o E4, com as chaves N3 e N4 abertas e com a unidade reserva fora de operação. A Figura 3-(a) mostra a forma de onda e o espectro de frequências da tensão transitória fase-terra calculada no terminal H1 do reator E4. Ocorre a atuação dos pára-raios da entrada de linha e dos reatores, limitando o valor máximo da sobretensão abaixo do limite recomendado pelos critérios convencionais de coordenação de isolamentos. Entretanto, em determinadas faixas de frequências a energia associada a tensão transitória excede a energia aplicada nos ensaios dielétricos com a forma de onda padronizada 1,2/50us, com amplitude 1550kV.

A Figura 3-(b) mostra a forma de onda e o espectro de frequências da tensão transitória fase-terra calculada no terminal H1 da unidade reserva, operando no banco E4 da subestação Luiz Gonzaga com a chave N3 aberta, para um curto-circuito na entrada da linha de transmissão Luiz Gonzaga – Milagres 500kV.

A Figura 4 mostra as formas de onda das tensões transitórias fase-terra calculadas nos terminais dos reatores da subestação Milagres e os respectivos espectros de frequências, para a energização do reator de barra E2 com disjuntor sem resistor de pré-inserção e para a manobra com reacendimento na chave seccionadora T2-4, com o disjuntor D1 e a chave D1-2 abertos.

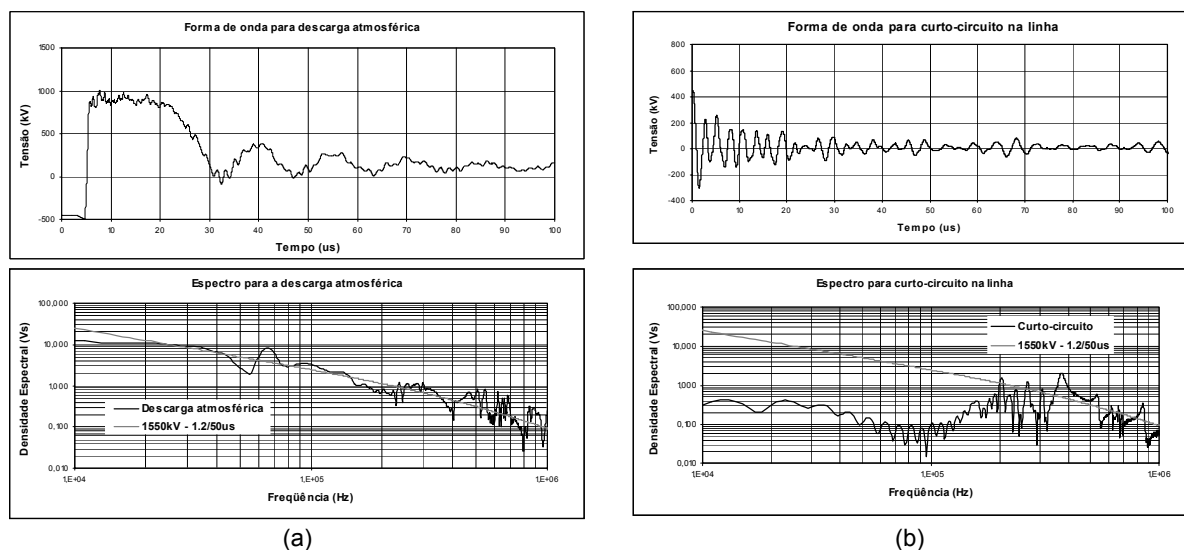


FIGURA 3 – Tensões transitórias calculadas na subestação Luiz Gonzaga 500kV

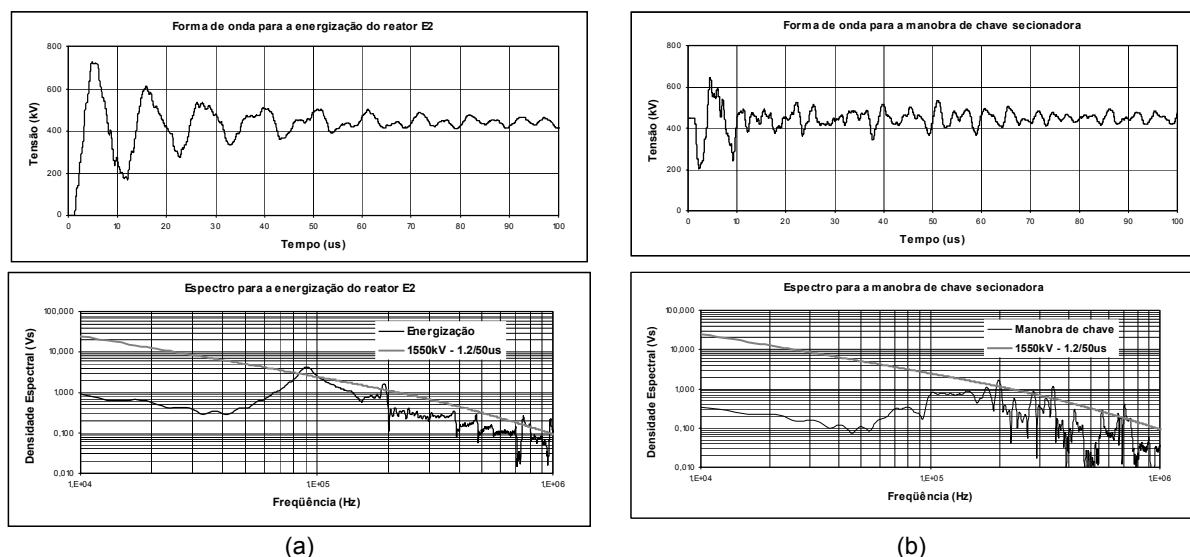


FIGURA 4 - Tensões transitórias calculadas na subestação Milagres 500kV

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos casos mais severos simulados, para cada subestação, incluindo o reator mais solicitado em cada caso, as faixas de frequências críticas e o fator de severidade na frequência crítica, definido como a relação entre a densidade espectral (Vs) do sinal de tensão transitória calculado e a densidade espectral (Vs) para a forma de onda 1,2/50us.

3.2 Distribuição de Tensão no Enrolamento

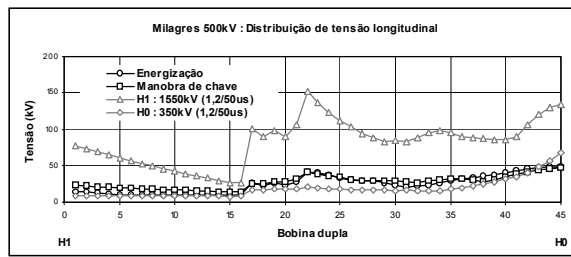
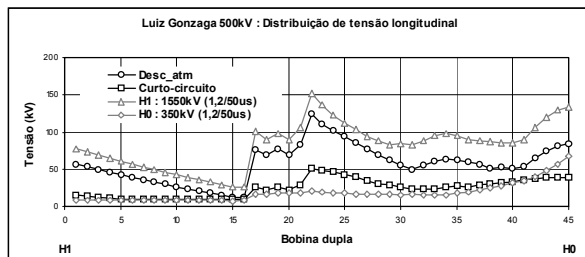
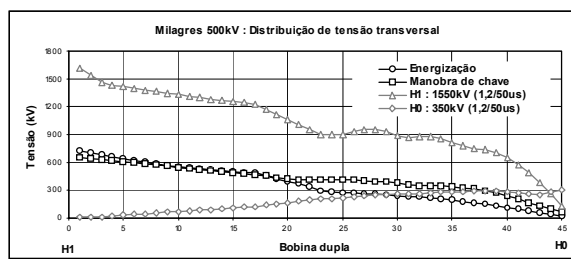
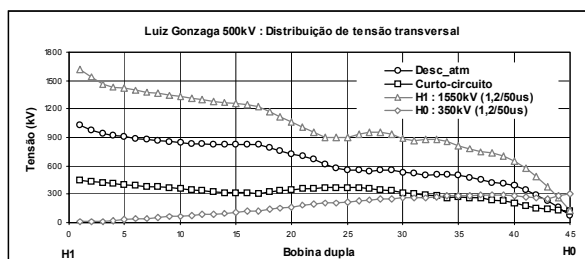
A Figura 5 apresenta as distribuições de tensão ao longo do enrolamento, em termos de valor máximo da tensão transitória, para os casos mais severos apresentados na Tabela 1 e para a forma de onda padronizada 1,2/50 μ s. De uma forma geral, as solicitações mais elevadas em termos de tensão transitória máxima entre bobinas duplas ocorrem próximo à transição dos subgrupos DS e DC e próximo à saída da ligação do ponto neutro. Na subestação Luiz Gonzaga, para o caso de curto-circuito na entrada da linha de transmissão a tensão máxima para a terra, próximo à saída da ligação do ponto neutro, pode exceder o valor máximo obtido com a aplicação de um impulso com a forma de onda 1,2/50us e amplitude 1550kV no terminal H1, mas está abaixo do valor máximo obtido com a aplicação de um impulso com mesma forma de onda e amplitude 350kV no terminal H0. A Figura 6 mostra as formas de onda das tensões transitórias calculadas, para a terra e entre bobinas duplas, para o caso de curto-circuito na linha de transmissão para a subestação Luiz Gonzaga, e para o caso de manobra de chave seccionadora para a subestação Milagres.

Os resultados das simulações realizadas indicam que a configuração de operação das conexões de neutro e da

unidade reserva podem afetar a distribuição de tensão nas bobinas do enrolamento dos reatores. No caso específico da subestação Luiz Gonzaga, para um curto-circuito na entrada da linha de transmissão as maiores solicitações ocorrem com a unidade reserva operando na posição E4 com a chave N3 aberta. Devido ao elevado comprimento de cabo e tubo, cerca de 110m, entre a bucha de neutro da unidade reserva e o ponto de aterramento do banco E4, podem ocorrer elevadas tensões transitórias nas bobinas duplas próximas à saída da ligação do ponto neutro (44 e 45). Na subestação Milagres, os comprimentos de tubo envolvidos são consideravelmente menores que na subestação Luiz Gonzaga, como mostra a Figura 1-(b).

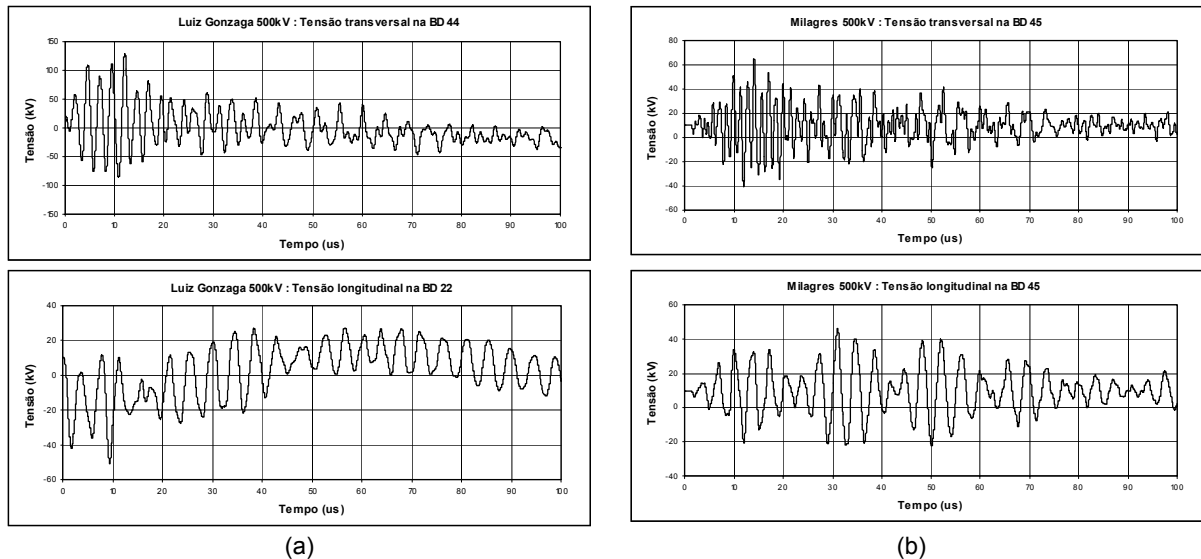
TABELA 1 – Resumo dos principais resultados das simulações

Subestação	Evento simulado	Reator mais solicitado	Faixas de frequências críticas (kHz)	Fator de severidade
Luiz Gonzaga 500kV	Descarga atmosférica indireta na primeira torre da linha de transmissão L. Gonzaga – Milagres 500kV.	E4 com chaves N3 e N4 abertas.	60 – 74 (65) 250 – 353 (282 e 298) 419 – 519 (508) 529 – 558 (546) 612 – 664 (619 e 659) 669 – 704 (682) 828 – 944 (881)	2,12 1,58 e 1,75 2,66 3,09 3,41 e 2,54 3,08 2,59
	Curto-circuito na entrada da linha de transmissão L. Gonzaga – Milagres 500kV.	Reserva na posição E4 e chave N3 aberta.	261 – 270 (265) 346 – 544 (373 e 533) 659 – 667 (663) 788 – 864 (849)	1,56 4,01 e 2,10 1,47 2,79
	Manobra da chave seccionadora 35V1-5 com o disjuntor 15V1 e a chave 35V1-4 abertos.	E3 com chaves N3 e N4 abertas.	420 – 443 (426 e 440) 717 – 767 (728) 791 – 837 (827) 889 – 923 (908) 972 – 993 (981)	3,07 e 1,62 2,36 2,78 3,04 2,27
Milagres 500kV	Energização do reator de barra (05E2) sem resistor de pré-inserção.	E2 com chaves N1 e N2 abertas.	85 – 101 (91) 742 – 768 (748) 970 – 1000 (977)	1,59 1,65 2,24
	Curto-circuito na entrada da linha de transmissão L. Gonzaga – Milagres 500kV.	E1 com as chaves N1 e N2 abertas.	198 – 205 (202) 328 – 356 (334 e 346) 359 – 391 (367) 396 – 478 (401 e 471) 850 – 932 (922)	1,38 1,99 e 6,32 5,28 2,29 e 4,09 1,57
	Manobra da chave seccionadora 35T2-4 com o disjuntor 15D1 e a chave 35D1-2 abertos.	Reserva na posição E2 e chave N1 aberta.	194 – 202 (198) 279 – 284 (282) 337 – 348 (343) 655 – 660 (658) 696 – 718 (703)	1,43 1,16 2,07 1,21 2,29



(a) (b)
FIGURA 5 – Distribuição de tensão no enrolamento dos reatores

Nos casos de manobras de chaves seccionadoras com tensão, as simulações também indicam que as solicitações no enrolamento dos reatores podem ser reduzidas com uma determinada seqüência de manobras. Por exemplo, nas manobras para liberação do disjuntor D1 na subestação Milagres, as solicitações nos reatores E1 e E2 podem ser reduzidas com a abertura da chave T2-4 antes da chave D1-2.



(a) (b)
FIGURA 6 – Tensão transitória nas bobinas duplas do enrolamento dos reatores

4.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS E MEDIDAS PARA REDUÇÃO DOS RISCOS

Nas faixas de frequências de 200-300kHz e 600-700kHz existem ressonâncias parciais importantes no enrolamento dos reatores para algumas frequências bem definidas (5), (6). Para uma excitação senoidal com frequência próxima de uma frequência de ressonância, ocorrem elevadas sobretensões entre bobinas duplas e para a terra ao longo do enrolamento. Tensões transitórias com fator de severidade maior que 1,0 nessas frequências podem levar a ocorrência de descargas internas em pontos localizados. Nessas faixas de frequências, as bobinas mais solicitadas em termos de sobretensões para a terra (transversal) e entre bobinas (longitudinal) são as bobinas duplas próximas à transição entre os subgrupos DS e DC, no centro do subgrupo DC e próximas à saída da ligação do ponto neutro (posições 39 a 45).

As tensões transitórias calculadas nos terminais dos reatores da subestação Luiz Gonzaga, para curto-circuito ou descarga atmosférica na linha de transmissão, apresentam componentes de tensão com densidade espectral elevada, superando a densidade espectral com a forma de onda padronizada 1,2/50us, em frequências que estão contidas nas faixas críticas para o enrolamento dos reatores e muito próximas de algumas frequências de ressonância. Os cálculos de distribuição de tensão no enrolamento mostram que em função do arranjo físico dos barramentos de neutro, a configuração de operação das conexões e da unidade reserva podem afetar a distribuição de tensão nas bobinas. Para um curto-circuito na entrada da linha de transmissão com o reator reserva operando no banco E4, a tensão máxima para a terra nas bobinas duplas próximas da saída da ligação do ponto neutro pode exceder o valor máximo obtido com a aplicação de um impulso com a forma de onda 1,2/50us e amplitude 1550kV no terminal H1.

Por outro lado, as tensões transitórias calculadas nos terminais dos reatores da subestação Milagres não apresentaram componentes de tensão com densidade espectral elevada nas faixas de frequências críticas para o enrolamento, com exceção da manobra da chave seccionadora T2-4 com o disjuntor D1 e a chave seccionadora D1-2 abertos. Entretanto, mesmo nesta manobra o fator de severidade mais elevado na faixa de frequências críticas é inferior aos valores calculados para a subestação Luiz Gonzaga.

Um outro aspecto que deve ser considerado nas análises é que as solicitações internas ao enrolamento dos reatores têm algumas características específicas. Em particular, a ocorrência de solicitações frequentes pode deteriorar cumulativamente a suportabilidade da isolamento interna do enrolamento resultando na elevação do risco de falha (5). Naturalmente, procedimentos adequados de projeto podem contribuir para minimizar estes riscos e estender, com confiabilidade, a vida operacional do reator. Estes procedimentos, de forma geral incluem :

- Análise detalhada da suportabilidade da isolamento interna do enrolamento, considerando as solicitações estabelecidas por tensões transitórias convencionais (normalizadas) e não-convencionais, determinadas através de simulações da interação entre o reator e o sistema elétrico, aplicadas no terminal do reator;
- Análise de ressonâncias parciais do enrolamento, com o cálculo detalhado de tensões internas e solicitações associadas nas isolações correspondentes;
- Considerações especiais de forma a incluir efeitos associados à redução da suportabilidade elétrica da isolamento interna do enrolamento quando submetido a frequentes solicitações estabelecidas por sobretensões transitórias de altas frequências.

Adicionalmente, a presença de reator de neutro e ou configurações especiais de aterramento do neutro do reator ou do banco deve ser analisado com atenção especial sob os dois aspectos: determinação das sobretensões

terminais e das solicitações internas correspondentes, podendo contribuir para elevar a confiabilidade do reator e da instalação.

5.0 - CONCLUSÃO

O estudo realizado permitiu a identificação de solicitações significativas no enrolamento dos reatores, especialmente na subestação Luiz Gonzaga, como consequência das tensões transitórias geradas em alguns eventos ou manobras. O arranjo físico da subestação e dos barramentos de neutro e a sequência de manobras de chaves seccionadoras apresentaram uma influência importante nas solicitações. Nas subestações Luiz Gonzaga e Milagres foram detectadas condições de serviço em que as solicitações impostas aos reatores, em determinadas faixas de frequências, excedem as solicitações aplicadas durante os ensaios dielétricos realizados em laboratório com as formas de onda padronizadas. Na subestação Luiz Gonzaga, as faixas de frequências calculadas estão muito próximas de algumas frequências de ressonância parcial do enrolamento.

Para minimizar as solicitações e, por consequência, os riscos de danificação de reatores, foram implantadas algumas medidas operativas como a elaboração de instruções de operação padronizando a sequência de manobras de chaves seccionadoras com tensão, nas subestações Luiz Gonzaga e Milagres, e foram implantadas algumas alterações na configuração operativa dos barramentos de neutro da subestação Luiz Gonzaga, inclusive com a instalação de um ponto de aterramento local do neutro da unidade reserva.

Esta experiência ressalta a importância do trabalho em conjunto do fabricante do equipamento e da empresa proprietária do ativo para que seja possível realizar este tipo de análise na busca de soluções para aumentar a confiabilidade das instalações de geração e transmissão de energia elétrica.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MEDEIROS, R. K. D. M., et ali, "Estudo de Tensões Transitórias de Alta Frequência para a Subestação Luiz Gonzaga 500kV", XII ERIAC, CE C4, Foz do Iguaçu – PR, maio de 2007.
- (2) FREIRE, A. R. F., PENA, M. C. M., "Estudo de Tensões Transitórias de Alta Frequência e Requisitos para a Especificação de Transformadores", XVIII SNPTEE, GSC, Curitiba – PR, outubro de 2005.
- (3) LUZ, G. S., JWG A2/C4-03, "Discussion on Interaction Between Transformers and the Power Systems", Cigré International Symposium on Transient Phenomena in Large Electric Power Systems, Zagreb – Croatia, abril 2007.
- (4) CANCINO, A., et ali, "In Service Failure of 230kV Transformers due to Steep-Front Lightning Overvoltages at Mexican West Coast", Cigré 2006 Session, Paper A2-201.
- (5) MENDES, J. C., "Redução de Falhas em Grandes Transformadores de Alta Tensão", Tese de Doutorado, USP, 1995.
- (6) ROCHA, A., C., O., et ali, "Análise das Falhas dos Autotransformadores da SE São Gotardo 2 : Enfoque na Ressonância Parcial de Enrolamento", XV SNPTEE, GSI, Foz do Iguaçu – PR, outubro de 1999.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Antonio Roseval F. Freire, nascido em Recife-PE em 1964, formou-se em Engenharia Elétrica pela UFPE em 1985, obteve o grau de Msc pela COPPE/UFRJ em 1991 e foi pós-graduado em Engenharia da Qualidade pela UFPE em 1995. Trabalha na CHESF desde 1985, com experiências nas áreas de especificação, ensaios e análise de desempenho de equipamentos de subestações e compensadores estáticos, e nas áreas de planejamento da operação e estudos elétricos de sistemas de potência. É membro individual do CIGRE.

Miguel Carlos Medina Pena, nascido em Porto-Portugal em 1954, formou-se em engenharia Elétrica pela UPE em 1978, foi pós-graduado em Engenharia da Qualidade pela UFPE em 1996 e obteve o grau de Msc pela EFEI / Itajubá em 2003. Trabalha na CHESF desde 1979 na área de Manutenção de Equipamentos de Subestação. É membro individual do CIGRE.

José Carlos Mendes, nascido em Ibirarema-SP em 1957, é Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com Tese em área de resposta transitória de enrolamentos de transformadores, incluindo ressonâncias e transitórios rápidos. Tem artigos técnicos publicados no Brasil e exterior e mais de 25 anos de experiência em projeto elétrico, projeto mecânico, desenvolvimento, monitoração em tempo-real, diagnósticos, análise de estado e análises de falhas de transformadores de potência e reatores em alta tensão. É Gerente de Engenharia e Desenvolvimento da Divisão de Transformadores da ABB Asea Brown Boveri - Brasil. É membro do IEEE e do CIGRÉ.