



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

GSC - 20  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO X  
GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO - GSC**

**EXPLOSÕES DE DISJUNTORES EM UM GRANDE CONSUMIDOR INDUSTRIAL : INVESTIGAÇÕES DAS CAUSAS E INFLUÊNCIAS DO ACOPLAMENTO COM A CONCESSIONÁRIA**

**Marcelo A. Barbosa  
B&A Engenharia e Serviços Ltda**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta os resultados das investigações para determinação das causas de explosões do disjuntor de um banco de capacitores em um grande consumidor industrial. Para isto, estudos de transitórios e interferências harmônicas foram realizados, onde foi imperativo considerar as influências do acoplamento com a concessionária, devido à proximidade e características da subestação alimentadora.

Os principais resultados demonstraram a influência deste acoplamento entre concessionária e consumidor, sobretudo no aumento significativo das correntes de energização e nos níveis de curto circuito com descarga capacitiva.

Finalmente, estão apresentados no trabalho as medidas adotadas para minimizar os efeitos sobre os disjuntores e as necessidades de uma nova especificação que atenda à severidade desta aplicação

**PALAVRAS-CHAVE**

Transitórios, Subestação, Disjuntor, Banco de Capacitores

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em 2 de abril de 1997 e 13 de julho de 2003 a fábrica de alumínio da ALCAN em Candeias, Bahia, experimentou duas falhas no mesmo disjuntor que alimenta um banco de capacitores de 25,2 MVar conectado à barra de 13,8 kV.

Em ambas as situações a falha do disjuntor resultou em arco elétrico, fogo e completa destruição do cubículo.

Este banco de capacitores iniciou operação em 1994 como um "upgrading" da instalação aos bancos de capacitores existentes para atender à nova legislação do fator de potência médio horário iniciado naquele ano. Nesta primeira etapa o banco de capacitores foi concebido com uma potência reativa capacitiva de 14,4 MVar e foram instalados reatores de núcleo de ar de 50µH para limitação das correntes de energização back – to – back .

Numa segunda etapa, em fevereiro de 1996 o banco de capacitores foi repotenciado para 25,2 MVar para atender ao aumento de demanda da planta. Logo após a energização ocorreram falhas de unidades capacitivas causando fogo e queima de fusíveis na parte externa do banco de capacitores quase levando – o à destruição se não fosse a atuação rápida da brigada de incêndio. Nesta primeira ocorrência presumia – se que seria um caso puramente de ressonância harmônica e novos reatores foram providenciados para dessintonização do banco de capacitores afastando a frequência do sistema da harmônica de 5ª ordem, pois na barra de 13,8 kV em referência, estão

\*Rod. Rodrigo Melo Franco de Andrade, Km 102 – CP 196 - CEP 35400-000 – Ouro Preto - MG - BRASIL  
Tel/Fax.: (031) 35512061 - e-mail: matriz@barbosandrade.com.br

conectados os grupos retificadores de potência de uma das linhas de produção de alumínio com uma carga instalada de 40 MW.

Apesar de vários registros de ocorrências de desligamentos por sobretensões provocadas por rejeições de carga ou originadas na concessionária de energia, relata – se que o banco de capacitores operou satisfatoriamente até abril de 1997, quando ocorreu a primeira explosão do disjuntor. Acreditando ser um problema de manutenção, o disjuntor foi substituído por outro do mesmo modelo, isolado a gás SF<sub>6</sub>, que operou até julho de 2003 quando novamente veio a explodir, instantaneamente logo em seguida a um curto – circuito originado nas unidades capacitivas, chamando a atenção o fato de que não houve manobra ou tentativa de abertura do disjuntor pela proteção.

A partir daí, preocupados com o alto potencial de danos e riscos de segurança envolvidos, investigações foram conduzidas para determinação das causas das falhas e eliminação do risco.

Medições de grandezas elétricas e harmônicas de tensão e corrente foram realizadas em todos os pontos de interesse, em várias configurações possíveis do sistema elétrico em situações de carga leve e pesada. Estas medições subsidiaram a realização de estudos de transitórios e interferências harmônicas, avaliando situações de ressonância harmônica, correntes de energização dos bancos de capacitores, solicitações térmicas e dinâmicas no disjuntor para curto – circuito com descarga capacitiva (outrush) e reacendimento do disjuntor na interrupção de corrente capacitiva.

## 2.0 - HISTÓRICO E AFIRMAÇÃO DO PROBLEMA

A Figura 1 mostra um diagrama unifilar simplificado da planta de alumínio da ALCAN em Candeias, Bahia.

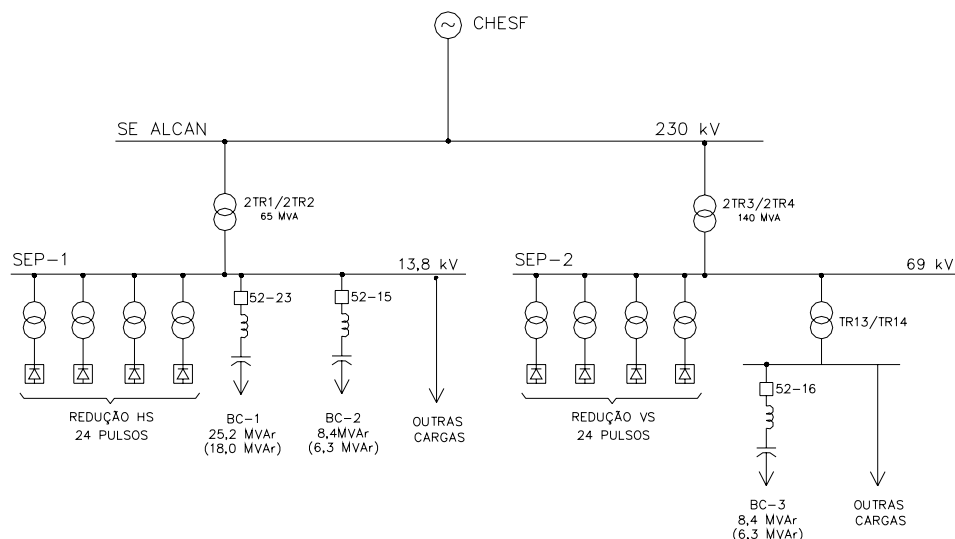


FIGURA 1 – Diagrama unifilar simplificado do sistema elétrico ALCAN – BA

A alimentação em 230 kV é originada da subestação de Jacaracanga da CHESF, que apresenta uma característica atípica, pois possui um nível de curto-circuito muito elevado (da ordem de 6500 MVA) e está interligada à subestação ALCAN por uma linha muito curta de aproximadamente 1,5 Km. Além disso, um banco de capacitores de 27,1 MVar está presente nesta subestação.

Existem dois transformadores abaixadores de 65 e 140 MVA que alimentam duas linhas de produção de alumínio (HS e VS).

As subestações retificadoras de alta potência podem fornecer até 80 kA e 160 kA em corrente contínua nas linhas HS e VS, respectivamente.

Ambas as subestações possuem quatro transformadores – retificadores devidamente defasados de 15° de modo a aumentar para 24 o número de pulsos da instalação retificadora.

A compensação de reativos atualmente é feita através de três bancos de capacitores BC-1, BC-2 e BC-3, com potências nominais de 25,2 e 8,4 MVar e potências efetivas de 18,0 e 6,3 MVar.

O disjuntor de manobra do banco de capacitores BC-1 (52-23) é o que experimentou as duas falhas relatadas e cuja investigação é a principal motivação deste trabalho.

Resumindo os relatórios de ocorrências existentes, pode – se traçar o seguinte histórico :

- O banco de capacitores BC-1 entrou em operação em 1994. Inicialmente o banco foi concebido com uma potência nominal de 14,4 MVAR (10,3 MVAR efetivo) e foi especificado apenas um reator para limitação das correntes de inrush de 50  $\mu$ H.
- Posteriormente em 1996 o banco de capacitores foi repotenciado para 25,2 MVAR (18,0 MVAR efetivo) onde houve a primeira ocorrência com a explosão de unidades capacitivas do banco.
- Logo em seguida, o reator foi substituído por outro de 1,26 mH, sintonizando o banco de capacitores em 282 Hz (4,7ª ordem), presumindo – se que as ocorrências se deviam a uma forte ressonância harmônica. Segundo observações do pessoal operacional, parecia que a situação havia melhorado.
- Em 2 de abril de 1997 ocorreu a primeira explosão do disjuntor 52-23.
- Em 13 de julho de 2003 ocorreu a segunda explosão do disjuntor 52-23 do mesmo tipo que o anterior. Esta explosão ocorreu 6 anos depois, e pelo relato da ocorrência o disjuntor não foi manobrado, apesar de que houve um curto-circuito em unidades capacitivas.

Nos relatórios operacionais estão registrados ainda de 27 de outubro de 1994 a 27 de abril de 1996 inúmeras ocorrências de desligamento do banco de capacitores BC-1 por sobretensões devido à rejeição de carga da linha HS ou manobras no sistema CHESF.

Acrescentando – se aos problemas citados a necessidade de incremento de potência reativa capacitiva para manutenção do fator de potência mínimo de 0,92 mesmo em condições de carga pesada para reativos, foi imperativo investigar a verdadeira causa das ocorrências relatadas, uma vez que o problema não foi solucionado com a dessintonização do banco de capacitores e novas ocorrências de explosões, de alto potencial de danos pessoais e patrimoniais, certamente poderiam voltar a ocorrer.

A operação de carga capacitiva em redes de alta tensão, é um assunto delicado, normalmente objeto de estudo detalhado, tanto em regime permanente como de transitórios eletromagnéticos, devido à severidade das sobretensões e sobrecorrentes resultantes.

Para especificação de disjuntor para banco de capacitores deve – se avaliar os seguintes aspectos de extrema importância :

- Energização dos bancos de capacitores em contraposição (back –to-back).
- Solicitações térmicas e dinâmicas nas ocorrências de um curto-circuito em um barramento onde estão conectados banco de capacitores.
- Reacendimento na interrupção de uma corrente capacitiva (TRT)

A questão das harmônicas não influi diretamente na causa da explosão do disjuntor, somente contribuindo com elevação de tensão (o que indiretamente tornam os transitórios mais severos) e da corrente RMS, além de degradar a vida útil dos capacitores e expô – los a curtos-circuitos.

### 3.0 - AVALIAÇÃO DAS CORRENTES DE ENERGIZAÇÃO

#### 3.1 Sem a contribuição do sistema da concessionária

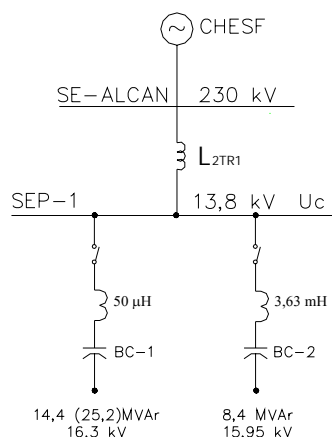


FIGURA 2 – Sistema sem incluir concessionária

Em condições normais, como a indutância equivalente dos bancos já energizados é menor que a indutância do sistema, resulta que existirá a predominância marcante da corrente proveniente dos outros bancos, em relação à do sistema, na corrente de energização a tal ponto que, na maioria dos casos, despreza-se a contribuição do sistema.

Desta forma, o valor máximo e a frequência da corrente de energização são dados por:

$$I_e = \frac{U_c}{\sqrt{\frac{L_{eq}}{C_{eq}}}} \quad f_e = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{eq} \times C_{eq}}}$$

Onde:  $U_c$  = Valor instantâneo da tensão na barra de manobra

$L_{eq}$  = Indutância total equivalente em série com o banco de capacitores a ser manobrado.

$C_{eq}$  = Capacitância total equivalente em paralelo com o banco de capacitores a ser manobrado.

O transitório de tensão na manobra de um disjuntor de banco de capacitores, sem controle sobre o instante do fechamento, incluindo ainda um incremento para levar em conta a possibilidade do banco estar pré-carregado com uma tensão de polaridade oposta à da fonte chega aos seguintes valores típicos em contra-posição (back-to-back):

- 2 bancos: 2,50 pu
- 3 bancos: 2,33 pu
- 4 bancos: 2,25 pu

Desprezando-se a contribuição e presença de um banco de capacitores na SE Jacaracanga encontrava-se os seguintes valores para as amplitudes e frequências das correntes de inrush:

TABELA 1 – Correntes de energização sem incluir concessionária

BANCO	REATOR	$I_e$ (kA)	$f_e$ (Hz)
14,4 MVar	50 $\mu$ H	5,9	356
25,2 MVar	50 $\mu$ H	6,5	236
25,2 MVar	1,26 mH	5,6	282
8,4 MVar	3,63 mH	5,6 (5,6)	326 (282)

A Norma ANSI C37-06-1976 estabelecia que disjuntores deveriam ser capazes de interromper correntes de inrush com as seguintes características:

$$I_e \leq 4815 \text{ A}$$

$$f_e \leq 2 \text{ kHz}$$

$$(I_e) \times (f_e) < 2 \times 10^7$$

Na revisão desta mesma Norma em 1987, a amplitude foi alterada conforme abaixo:

$$I_e \leq 15 \text{ kA}$$

$$f_e \leq 2 \text{ kHz}$$

Observe que, sem considerar a contribuição do sistema CHESF, a situação era satisfatória para o disjuntor 52-23 por se tratar de um equipamento fabricado em 1994.

Observe ainda que, os disjuntores a óleo (GVO e PVO) dos bancos de 8,4 MVar (mais antigos) ultrapassam os valores de 1976 porém, por ser pouco manobrados, não tem apresentado problemas, apesar de serem disjuntores não recomendados para manobra de bancos de capacitores.

### 3.2 Com a contribuição do sistema da concessionária

A proximidade da SE Jacaracanga com a SE Alcan, a interligação através de uma linha curta de baixa impedância e a existência de um banco de capacitores de 27,1 MVar naquela subestação, configura uma situação de risco a ser verificada. Acrescenta-se ainda o elevado nível de curto-circuito na SE Jacaracanga da ordem de 6500 MVA.

A partir de então, a contribuição do sistema não pode ser mais desprezada e a nova configuração torna-se:

Considerando esta nova situação, os valores para as correntes de inrush aumentam conforme Tabela2.

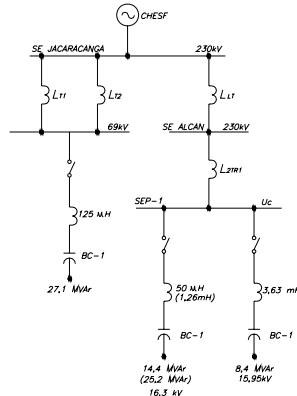
TABELA 2 – Correntes de energização incluindo concessionária

BANCO	REATOR	$I_e$ (kA)	$f_e$ (Hz)
14,4 MVar	50 $\mu$ H	16,4	525
25,2 MVar	50 $\mu$ H	20,0	431
25,2 MVar	1,26 mH	12,8	275
8,4 MVar	3,63 mH	6,6(6,1)	299(280)

Portanto, considerando a contribuição do sistema, a situação torna-se crítica e começa a justificar as falhas do disjuntor.

É interessante notar que mesmo considerando o banco da CHESF o banco menor da ALCAN de 8,4 MVar não é afetado, pois conjuga uma alta indutância do reator com uma baixa potência capacitiva.

FIGURA 3 – Sistema incluindo a SE Jacaracanga da CHESF



Observe que, com o repotenciamento do banco de capacitores BC-1 para 25,2(18,0) MVar mantendo-se o mesmo reator de 50μH a situação tornou-se proibitiva.

Após a substituição dos reatores para 1,26 mH, pressumindo-se que o problema era ressonância harmônica, a situação melhorou indiretamente devido ao aumento da indutância.

Infelizmente, em abril de 1997 o disjuntor explodiu após 1 ano do repotenciamento, certamente em decorrência das operações desde 1994 com o reator de 50μH com correntes de inrush elevadas.

Após o sinistro outro disjuntor do mesmo tipo foi instalado e operou por mais 6 anos até vir a explodir novamente sem manobrar. Esta investigação está relatada no próximo item.

#### 4.0 - SOLICITAÇÕES DINÂMICAS NA OCORRÊNCIA DE CURTO-CIRCUITO COM DESCARGA CAPACITIVA

A ocorrência de 2003 com uma nova explosão do disjuntor chamou a atenção para uma nova condição operacional. Desta vez o disjuntor explodiu sem ter havido manobra e durante a ocorrência de curto-circuito no banco de capacitor. Se não bastasse a corrente já elevada de inrush que afeta o desempenho do disjuntor aparece claramente uma nova solicitação capaz de explodir um disjuntor sem manobra.

Quando ocorre um curto-circuito numa subestação, onde estão instalados bancos de capacitores a corrente total de curto-circuito resultante será inicialmente uma corrente oscilatória transitória de alta frequência sobreposta à corrente de curto-circuito de frequência industrial. Esta componente de alta frequência é consequência da descarga dos capacitores no curto-circuito (outrush).

A pior condição para esta corrente de descarga é obtida quando o curto-circuito ocorre no instante em que a tensão da rede, e conseqüentemente, do capacitor, está em seu valor máximo. Nesse instante, os bancos de capacitores estão completamente carregados e toda energia será dissipada através do curto.

Considerando um curto-circuito no período subtransitório ocorrendo no banco de capacitores provavelmente iniciando de uma falha monofásica evoluindo para a trifásica, onde há a contribuição de grandes motores existentes na rede interna da SEP-1, obtém-se para o valor de pico da corrente total de curto-circuito ( $I_{CC\ TOTAL}$ ).

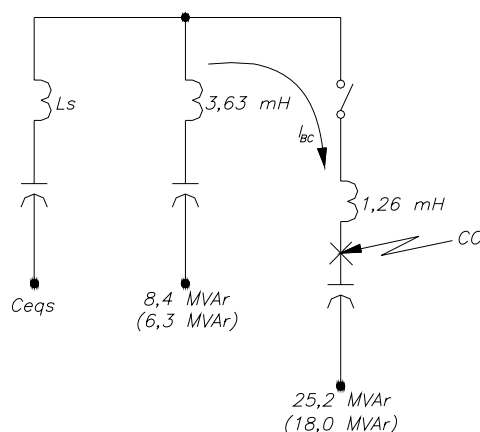


FIGURA 4 – Contribuição dos bancos de capacitores

Onde :  $I_{cc \text{ Total}} = I_{cc} + I_{bc} = 72 \text{ kA}$

Como regra prática, para utilizar um equipamento de manobra sujeito a descargas capacitivas que não tenha sido submetido a nenhum ensaio especial para verificar seu desempenho face aos esforços eletrodinâmicos a ele aplicados, em decorrência das altas frequências de oscilação mecânica em conjunto com a componente de 60 Hz adota-se que o valor máximo instantâneo da corrente de curto-circuito total não deve ser superior ao valor de crista da corrente especificada para o equipamento.

No caso, o disjuntor é de 40 kA ou 56 kA de pico.

Ou seja, o valor encontrado supera a capacidade dinâmica do disjuntor (esforço mecânico) e tornando-se mais vulnerável ainda dependendo de manobras com correntes de inrush ou mesmo pequenos problemas de manutenção (pressão de SF6, resistência e simultaneidade de contatos).

Para resolver este problema, os novos disjuntores deverão ser especificados atendendo ao requisito " Making Capacity da IEC" como item obrigatório.

#### 5.0 - REACENDIMENTO NA INTERRUPÇÃO DE UMA CARGA CAPACITIVA

Na abertura de um banco de capacitores em carga, a tensão nos terminais do disjuntor pode chegar a 2 pu e o disjuntor deve suportar essa solicitação sem restrike, mesmo que a abertura se dê durante uma sobretensão de frequência fundamental. Esta tensão chamada de TRT- Tensão de Restabelecimento Transitório- não foi informada pelo fabricante, porém seria muito importante devido às várias ocorrências relatadas de desligamento do banco de capacitores por sobretensões. Se um restrike ocorrer nessas condições, sobretensões bastante severas podem solicitar a subestação.

A norma IEC 62721100 de disjuntores, estabelece duas classes para manobra de bancos capacitores ( C1 e C2). Hoje, os disjuntores de melhor performance são classificados como classe C2 ( very low probability of restrike), também conhecidos como " restrike free".

É de suma importância que os novos disjuntores a serem especificados possuam esta característica.

#### 6.0 - ANÁLISE DE RESSONÂNCIA HARMÔNICA

As correntes harmônicas consideradas no estudo foram obtidas através de medições realizadas na planta da ALCAN utilizando-se registrador microprocessado de grandezas elétricas RE-4000 EMBRASUL e respectivo software ANH.

Após o modelamento do sistema elétrico da ALCAN/ ARATU resultando em 15 nós e 54 elementos, foram feitas simulações em computador através do programa HIPCGA do CIGRÉ que fornece os gráficos de impedância harmônica em várias frequências nas barras de interesse.

Devida à grande diversidade de configurações possíveis foi necessário um exaustivo trabalho computacional onde 21 casos foram estudados:

A) **Situação em 1996, ainda com reator de 50μH, quando o banco foi repotenciado e houve explosão de unidades capacitivas.**

Naquela situação, a representação da impedância harmônica (Zh) está mostrada no gráfico da Figura 5

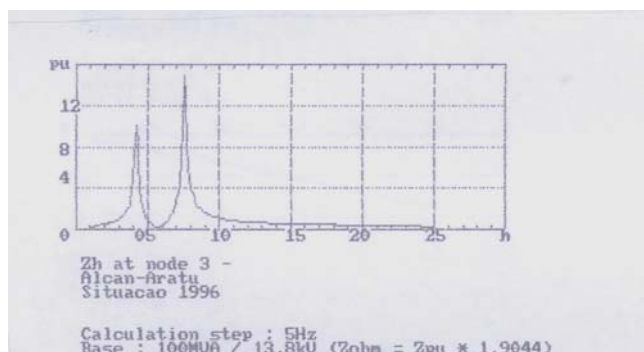


FIGURA 5 – Situação em 1996, reatores de 50μH, Impedância x frequência

Observe a existência de duas ressonâncias paralelas próximas às frequências de 240 e 480 Hz.

Considerando as medidas de correntes harmônicas de 4ª e 8ª ordens, com amplitudes de 41,49 A e 20,75 A , respectivamente, tem-se:

$$\mu_{CH} = \tan 84,3^\circ = 10,02$$

- Correntes harmônicas amplificadas (em pu da corrente do banco)

$$[I''_{4h}] = 0,47 \text{ pu}$$

$$[I''_{8h}] = 0,23 \text{ pu}$$

- Corrente RMS do capacitor incluindo a fundamental e maiores harmônicas

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_4^2 + I_8^2}$$

$$I_{RMS} = \sqrt{1^2 + 0,47^2 + 0,23^2}$$

$$I_{RMS} = 1,13 \text{ pu (Valor máximo permitido pela NBR. 5282 – Capacitores de potência-é de 1,31 pu – 131% de sobrecorrente).}$$

- As tensões harmônicas neste caso serão:

$$V_{4h} = Z_{4h} \times [I''_{4h}] = 0,99 \text{ pu}$$

$$V_{8h} = Z_{8h} \times [I''_{8h}] = 0,75 \text{ pu}$$

Sendo : -  $[I''_{4h}]$  e  $[I''_{8h}]$  a corrente harmônica amplificada em pu da corrente base.  
-  $Z_{4h}$  e  $Z_{8h}$  os picos de impedância harmônica na ressonância paralela.

- A tensão RMS sobre o capacitor será:

$$V_{RMS} = \sqrt{V_1^2 + V_4^2 + V_8^2}$$

$$V_{RMS} = \sqrt{1^2 + 0,99^2 + 0,75^2}$$

$$V_{RMS} = 1,59 \text{ pu}$$

Naquela situação de 1996, os capacitores foram submetidos a uma forte sobretensão de origem harmônica que, aliando-se a uma sobretensão operacional de rejeição de carga da HS (o banco foi religado quando a Redução ainda estava com 26 MW), chegou a níveis superiores a 80%, quase levando o banco de capacitores à destruição, como descrito nos relatórios de ocorrências.

#### B) Situação em 1996, após substituição dos reatores para 1,26 mH sintonizando o banco em 282 Hz.

Naquela situação a representação gráfica da impedância harmônica ( $Z_h$ ) é dada pela Figura 6.

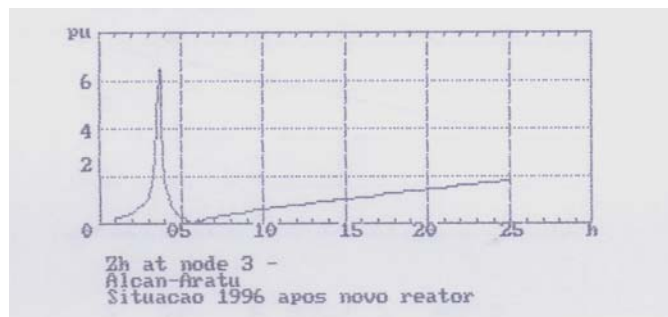


FIGURA 6 – Situação em 1996, reatores de 1,26 mH, Impedância x Freqüência

Nesta nova situação houve o aparecimento de apenas uma ressonância paralela entre as freqüências de 180 e 240 Hz, com um menor pico da impedância harmônica. Os cálculos levaram aos seguintes resultados:

$$I_{RMS} = 1,10 \text{ pu}$$

$$V_{RMS} = 1,19 \text{ pu}$$

Observe que a melhoria do ponto de vista de harmônicos foi relativa, pois a sobretensão de 19% imposta aos capacitores, dependendo da tensão operacional do sistema, podia ultrapassar a tensão nominal dos capacitores

trazendo problemas de redução de sua vida útil, como mostrado na Tabela 3:

TABELA 3 – Tensão sobre os capacitores

Tensão Operacional		Tensão sobre os capacitores
pu	kV	Volts
0,98	13,5	9.275
1,00	13,8	9.481
1,05	14,5	9.962
1,15	16,7	11.474

Lembrando que a tensão dos capacitores é de 9410 V e a situação de 1,05 e 1,15 pu referem-se a:

-1,05 pu: tolerância normal operacional do sistema elétrico.

-1,15 pu: sobretensão operacional no caso de rejeição de carga de HS, obtida no estudo de fluxo de potência.

Como já dito anteriormente, esta operação crítica para os capacitores (tem inúmeros relatos de sobretensões na barra de 13,8 kV com rejeição de carga na linha HS) levam estes capacitores a aquecimento e “stress” no dielétrico e a sua falha prematura, mas de forma lenta e gradual, pois depende de variações operacionais eventuais, tanto é que uma nova explosão de capacitores somente 6 anos depois (2003) veio a ocorrer.

Pode-se dizer que as sobretensões harmônicas são responsáveis pela deterioração e explosão dos capacitores e as correntes de energização (inrush) são responsáveis pela explosão dos disjuntores, logicamente as sobretensões harmônicas contribuem para tornar os transitórios de energização mais severos.

As medições de harmônicas nos bancos de capacitores revelaram também uma absorção de harmônicas no banco de capacitores de 25,2 MVar elevada.

A NBR 5282 apresenta o seguinte nível de imunidade ou nível de tensão admissível para capacitores:

$$\sum h_n V_n^2 \leq 44\%$$

A partir deste nível os capacitores apresentam maior nível de aquecimento e perda de vida útil.

Na ALCAN as medições revelaram os seguintes resultados avaliados até à 25ª ordem:

- Banco de Capacitores SEP-1 – 25,2 MVar: 51%
- Banco de Capacitores SEP-1/2 – 8,4 MVar: 15%

Observa-se claramente a absorção de harmônicas pelo banco maior (25,2 MVar) acima do nível de imunidade, reforçando a necessidade de divisão deste banco de capacitores. Obtendo – se dessa forma correntes de inrush, menores, maior flexibilidade operacional, divisão igualitária da absorção de harmônicas e conseqüentemente tensões harmônicas menores.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Os principais resultados demonstraram a influência do acoplamento entre concessionária e consumidor, principalmente no aumento significativo das correntes de energização e nos níveis de curto-circuito com descarga capacitiva, o que superava a capacidade dinâmica limite do disjuntor. Além disso, os resultados revelaram a necessidade de rearranjo dos bancos de capacitores existentes, não só para atender ao incremento da capacidade de compensação de reativos, mas, principalmente, para solucionar um problema de deterioração e perda da vida útil de unidades capacitivas devido a harmônicas. Também foi necessário a especificação de novos disjuntores que atendessem à severidade desta aplicação e a adoção de algumas medidas operacionais de controle e manobras para minimizar os problemas relatados incluindo intertravamento do banco de capacitores com o desligamento da Redução HS; instalação de proteção de sobretensão; temporização para religamento dos bancos de capacitores e testes de verificação da condição de descarga dos capacitores.

Finalmente, deve – se enfatizar a importância de que concessionárias e consumidores tenham conhecimento sobre modificações a serem implantadas em ambos os lados para que possam ser avaliados todas as interferências preventivamente.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, M.A. – Estudo técnico para compensação de reativos e avaliação de interferências – ALCAN/Unidade de Aratu – BA, 30p.
- Carvalho, A.C et alii. Disjuntores e Chaves. Niterói-RJ, EDUFF, 1995, 365p.
- Drummond, M. et alii. “Estudos de Transitórios para Instalar 4 Bancos de Capacitores em Derivação de 50 MVar numa subestação de 230 kV da CHESF”, In: VIII SNPTEE, CESP, São Paulo, 1986.
- Lemieux, G. “Power System Harmonic Resonance – a Documented Case, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.26, nº3, May/June, 1990
- Szabados, B. “On the interaction between power system configuration and industrial rectifier harmonic interference : a practical case study”, “IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-101, nº8, August, 1982.