



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

GCQ - 23  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA - GCQ**

**SOBRECARGA NOS FILTROS DE 3° e 5° HARMÔNICOS NA SE IBIÚNA 345 kV DO SISTEMA DE  
TRANSMISSÃO CCAT**

**Antônio P. Guarini \***

**Paulo Gomes**

**Fernando Ramos Lage**

**Arthur S. Santa Rosa**

**Patrick B. Alcântara**

**ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico**

**RESUMO**

Este artigo apresenta o problema de sobrecarga harmônica nos bancos de filtros de 3° e 5° harmônicos da SE Ibiúna 345 kV do Sistema de Transmissão CCAT. Trata-se de um problema crítico, que afeta um sistema de transmissão de grande porte e que tem demandado diversos procedimentos operativos em tempo real para controle deste carregamento, tendo em vista que a indisponibilidade destes filtros se traduz numa significativa restrição de potência para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Este problema está sendo analisado por ONS e Agentes, na busca da origem e solução do problema, como nos procedimentos operativos de controle eficazes.

**PALAVRAS-CHAVE**

Harmônicos, Operação em Tempo Real do Elo CC, Instruções Operativas, Sistema Interligado Nacional.

**1.0 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

Desde 1988, como pode ser comprovado pelo relatório emitido pelo GCOI/SCEL-002/92 “Sobrecarga Harmônica na SE Ibiúna – Diagnóstico e Expectativa de Solução”, têm sido identificadas situações com elevados índices de distorção de 5° harmônico na SE Ibiúna 345 kV, principalmente em períodos de carga leve.

Este relatório do GCOI já concluía que “os níveis de harmônicos existentes na subestação de Ibiúna, e que são superiores aos esperados, são causados pelo excesso de harmônicos presentes no sistema de corrente alternada, sendo que a principal causa está, provavelmente, associada às cargas industriais”.

Adicionalmente já apontava medidas operativas que deveriam ser empregadas na tentativa de se reduzir o índice de distorção harmônica, como abertura de circuitos e energização de bancos de capacitores.

O Sistema de Corrente Contínua de FURNAS foi projetado de tal forma que a presença de apenas um filtro de 3°/5° harmônicos seria capaz de garantir a qualidade de sua operação. A existência de um segundo banco desta sintonia forneceria a garantia de confiabilidade e disponibilidade necessárias, possibilitando a retirada de operação de um dos filtros para manutenção sem maiores conseqüências ou restrições para o sistema.

Ao longo dos últimos anos foram identificadas diversas ocorrências de sobrecarga harmônica em filtros AC do Sistema de Corrente Contínua de FURNAS, localizados em Ibiúna. Esta sobrecarga vem ocorrendo nos dois filtros sintonizados para 3<sup>a</sup> /5<sup>a</sup> ordens (180 e 300 Hz).

Tal problema tem obrigado a utilização contínua dos 2 filtros desta sintonia, em desacordo com o projeto original que previa a utilização de apenas um dos filtros, ficando o outro como reserva. Isto dificulta severamente a realização de manutenções preventivas. Adicionalmente, a indisponibilidade destes 2 filtros deixa o Elo CC vulnerável, sendo necessário reduzir a potência transmitida drasticamente e causando grandes transtornos operativos para o SIN.

**2.0 - UMA BREVE EXPLANAÇÃO SOBRE ELO CC**

O Elo de CC de FURNAS que opera desde 1985 é composto de uma subestação retificadora (Foz do Iguaçu) e uma Inversora (Ibiúna). É formado por dois bipólos (+/- 600 kV) com quatro pólos com um total de oito conversores

de 12 pulsos em cada subestação terminal, como pode ser visualizado pela Figura 1. Sua capacidade de transmissão é de 787 MW por conversor em condição normal de temperatura.

A subestação de Foz do Iguaçu (PR) recebe a energia gerada na usina de Itaipu setor de 50 Hz, retifica para corrente contínua e transmite até a subestação de Ibiúna (SP) onde é realizada a inversão para corrente alternada, em 60 Hz. A capacidade de transmissão do Elo CC, atualmente é suficiente para absorver toda a energia líquida ofertada por Itaipu 50 Hz.

O Elo de Corrente Contínua é dotado de flexibilidades operativas das quais para este tema em questão está na possibilidade de operação com nível reduzido de tensão ("Reduced Voltage") em alto consumo de potência reativa (HMC – High Mvar Consumption), que pode auxiliar no controle de tensão do SIN.

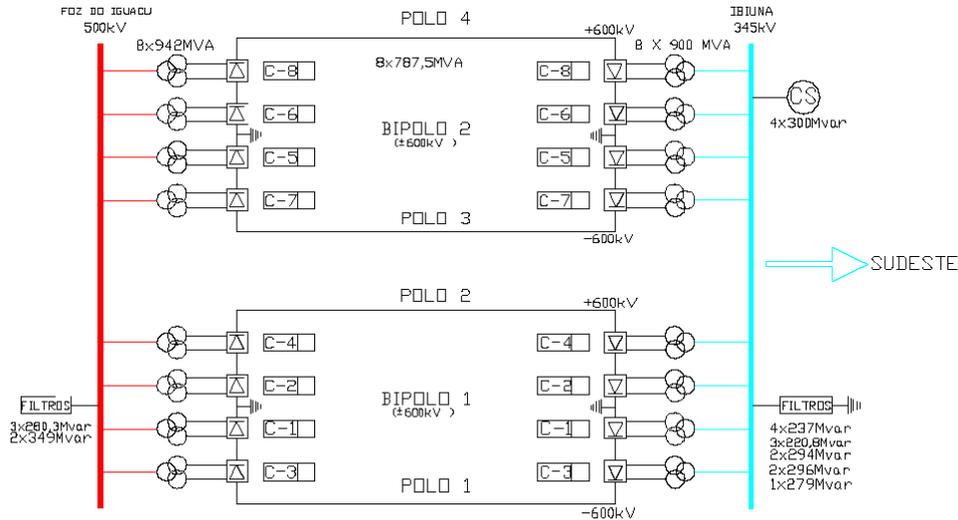


FIGURA 1 – Diagrama Unifilar do Elo CC.

### 3.0 - HARMÔNICOS PROVENIENTES DO ELO DE CORRENTE CONTÍNUA

Como se sabe, conversores geram harmônicos de tensão CC e de corrente CA que, por sua vez, serão introduzidos nos sistemas CC e CA, respectivamente.

As correntes harmônicas produzidas pelas conversoras podem ser classificadas em três tipos :

- harmônicas características que são da ordem  $12n+1$ , onde  $n$  é qualquer inteiro;
- harmônicas características canceladas que são da ordem  $6n+1$ , onde  $n$  é ímpar;
- harmônicas não-características, que são as de outras ordens.

A presença das harmônicas não-características no sistema pode ser relacionada aos seguintes aspectos :

- assimetria nos instantes de disparo das válvulas;
- diferenças nas reatâncias dos transformadores conversores e entre fase de um mesmo transformador;
- desequilíbrios de tensão do sistema CA.

### 4.0 - COMPENSAÇÃO REATIVA NA SE IBIÚNA 345 KV

No processo de conversão CC/CA em Ibiúna o consumo de potência reativa nos conversores é da ordem de 50 % da potência ativa transmitida.

Os filtros CA do Elo CC foram projetados para atendimento dos seguintes padrões de desempenho:

- Distorção Harmônica Individual da Tensão CA ( $V_h$ ) < 1%;
- Distorção de Tensão Harmônica Total (D) < 4%. Entende-se por Distorção de Tensão Harmônica Total (D) a raiz quadrada do somatório quadrático das tensões harmônicas de ordens 2 a 50, ou seja:

$$D = \sqrt{\sum V_h^2} \quad (\text{em } \%) \quad \text{onde:}$$

$$\Rightarrow V_h = 100 \frac{V_h}{V_1} \Rightarrow \text{Distorção harmônica individual de ordem } h \text{ da tensão CA em } \% \text{ da fundamental;}$$

$$\Rightarrow V_h \Rightarrow \text{tensão harmônica individual de ordem } h \text{ da tensão CA em volts;}$$

⇒  $V_1$  ⇒ tensão fundamental nominal em volts.

- Fator de Desequilíbrio de Tensão:  $(K) \leq 0.5\%$ . Exprime a relação entre as componentes de seqüência negativa (V2) e seqüência positiva (V1) da tensão, expresso em termos % da seqüência positiva:

Com base no Submódulo 3.8, no item relativo a desequilíbrio de tensão, tem-se que os Agentes Distribuidores e os Consumidores Livres devem manter as cargas balanceadas de forma que o desequilíbrio de tensão nos pontos de conexão não exceda o limite de  $K \leq 1,5\%$ . Associado ao atendimento deste limite, a permissão de um desequilíbrio de tensão maior na rede, 1,5% ao invés de 0,5%, levaria a magnitudes maiores de correntes harmônicas de ordem 3h (h=ímpar) gerada pelo Elo CC.

Ainda com relação ao efeito do desequilíbrio de tensão nos harmônicos de corrente CA, a título de ilustração a Figura 2 mostra o gráfico dos harmônicos na fase A da corrente CA em função da corrente CC no terminal inversor de um pólo do sistema CCAT para valores de desequilíbrio de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%. Por esta figura nota-se que o 3º harmônico varia praticamente de forma linear com o desequilíbrio de tensão para toda a faixa da corrente CC. Portanto quanto maior for o desequilíbrio maior será a magnitude deste harmônico e para um dado desequilíbrio, quanto maior for a corrente CC maior será a magnitude deste harmônico.

Isto significa dizer que como o projeto do Elo CC de FURNAS foi feito para 0,5% de desequilíbrio e hoje permite-se que este valor possa ser de até 1,5 %, a magnitude do 3º harmônico e dos demais de ordem 3h (h=ímpar) poderá, portanto, atingir até 3 vezes o valor de projeto. Este fato deverá ser levado em conta no projeto dos novos filtros de 3º/5º harmônicos da SE Ibiúna.

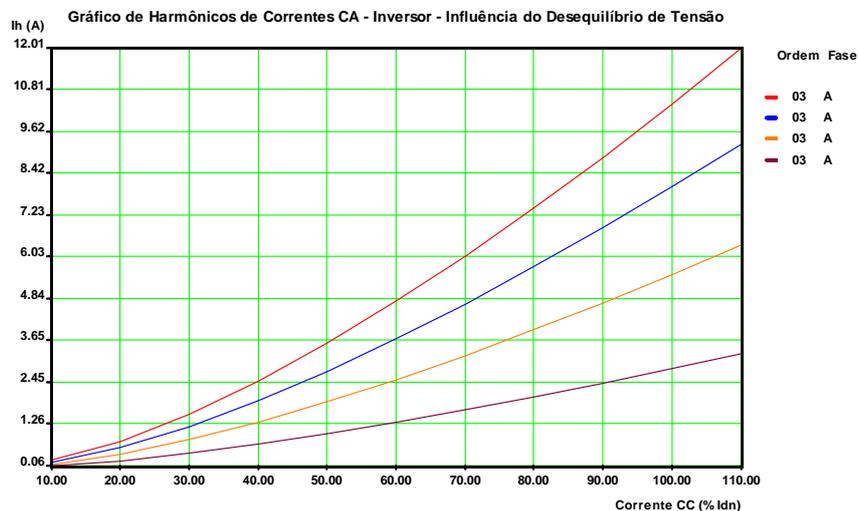


FIGURA 2 – Influência do Desequilíbrio de Tensão CA no 3º harmônico de corrente.

No dimensionamento dos filtros CA para a determinação das harmônicas não-características foram adotados os seguintes limites de tolerância :

- diferença de reatância entre enrolamentos dos transformadores conversores: 1 %;
- diferença de reatância entre transformadores conversores com tipo de conexão diferentes: 2 %;
- assimetria nos instantes de disparo : 3,35  $\mu$ s, correspondente a 0,06 graus;
- desequilíbrio no sistema CA: componente de seqüência negativa igual a 0,5 % do valor da seqüência positiva.

Para atender aos requisitos gerais de filtragem da SE Ibiúna, o projeto considerou a presença de um banco de filtros de dupla sintonia em 3º e 5º harmônicos conectado em caráter obrigatório. As principais razões foram:

- auxiliar a atender aos requisitos de desempenho ( D, TIF e IT ) para as correntes não-características de 3º e 5º harmônicos geradas pelos conversores CCAT,
- participar no balanço de potência reativa ( 59 Mvar por banco de 3º/5º harmônicos ),
- reduzir picos de sobretensões harmônicas durante eliminação de faltas trifásicas no inversor, que foram observados em estudos do projeto.

Para atender ao critério de reserva, redundância simples, e com isto garantir a confiabilidade do sistema receptor de corrente contínua, a subestação foi dimensionada com dois bancos de filtros. Portanto para atender os padrões de desempenho e o consumo de potência reativa da estação conversora de Ibiúna, para todos estágios de operação do Elo CC, foram necessários os filtros e bancos de capacitores mostrados na Figura 3.

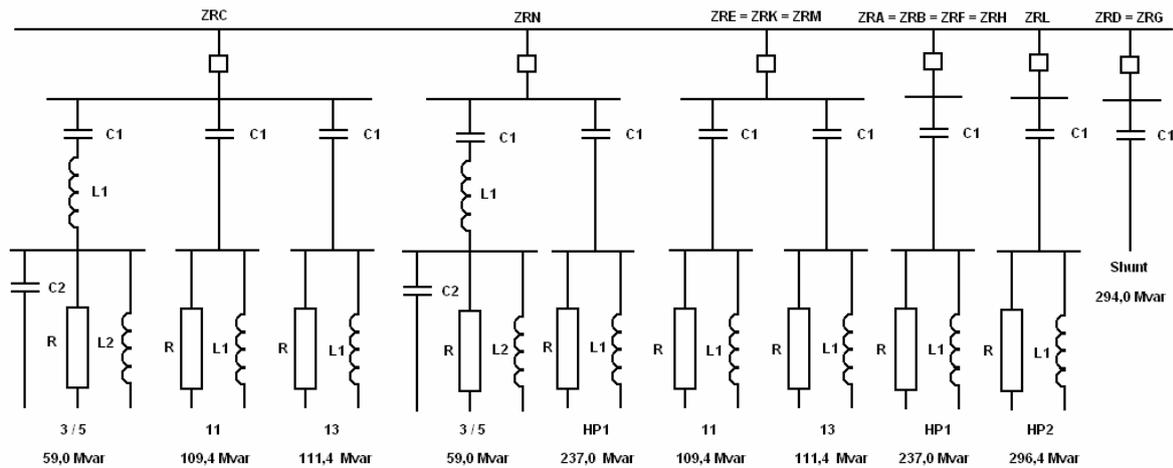


FIGURA 3 – Configuração Completa dos Filtros CA da Estação Conversora de Ibiúna

Para filtrar os harmônicos característicos e não característicos, a SE Ibiúna 345 kV possui um total de 10 bancos de filtros CA/ capacitores, ou seja: 3 de 220,8 MVar (11<sup>o</sup>,13<sup>o</sup>), 1 de 279,8 MVar (3<sup>o</sup>,5<sup>o</sup>,11<sup>o</sup>,13<sup>o</sup>), 1 de 296 MVar (3<sup>o</sup>,5<sup>o</sup>,HP – “High Pass”), 1 de 296,3 MVar (HP), 4 de 237 MVar (HP) e 2 bancos de capacitores shunt de 294MVar. O banco ZRC, além do ramo sintonizado para 3<sup>o</sup>/5<sup>o</sup> harmônicos, possui ramos sintonizados para harmônicas de ordem 11<sup>o</sup> e 13<sup>o</sup>, com potência total de 279Mvar. O banco ZRN, de potência nominal igual a 296Mvar, possui ramo adicional para frequências mais elevadas (HP).

#### 5.0 - PADRÕES DE DESEMPENHO

De acordo com o Submódulo 2.2 – “Padrões de Desempenho da Rede Básica” dos Procedimentos de Rede do ONS, o indicador para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos nos barramentos da Rede Básica corresponde à distorção de tensão harmônica. Os padrões globais de tensões harmônicas de ordens 2 a 50 estão apresentados na Tabela 1, bem como o padrão para a Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT).

$$DTHT = \sqrt{\sum V_h^2} \quad (\text{em } \%) \quad [1] \quad \text{onde } V_h \text{ é o conteúdo harmônico de tensão}$$

TABELA 1 – Limites Globais de Tensão Expressos em Porcentagem da Tensão Fundamental

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
ÍMPARES		PARES		ÍMPARES		PARES	
ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)	ORDEM	VALOR(%)
3, 5, 7	5%			3, 5, 7	2%		
		2, 4, 6	2%			2, 4, 6	1%
9, 11, 13	3%			9, 11, 13	1,5%		
		≥8	1%			≥8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥27	1%			≥27	0,5%		
<b>DTHT = 6%</b>				<b>DTHT = 3%</b>			

Quanto ao desequilíbrio de tensão também segundo o Submódulo 2.2 dos procedimentos de rede do ONS, tem-se que o limite global nos barramentos da Rede Básica é de:  $K \leq 2\%$ .

A avaliação dos resultados das medições harmônicas na SE Ibiúna 345 kV deverá, do ponto de vista de padrões de desempenho da Rede Básica, atender tanto o limite global de desequilíbrio de tensão de 2,0% quanto os padrões globais de tensões harmônicas constantes da Tabela 1.

#### 6.0 - FILTRAGEM DO 3<sup>o</sup> / 5<sup>o</sup> HARMÔNICOS

O projeto original do Elo CC prevê dois bancos de filtros de dupla sintonia para 3<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> harmônicos, sendo que apenas um seria necessário para filtrar a distorção produzida pelo Elo CC e o outro operaria como reserva, para atender manutenção ou contingência.

Ao longo dos últimos anos foram identificadas diversas ocorrências de sobrecarga harmônica em filtros do sistema de corrente contínua de FURNAS, localizados na SE Ibiúna 345 kV. esta sobrecarga vem ocorrendo nos filtros de 3a/5a ordem (denominados ZRN e ZRC), mesmo operando com os dois filtros simultaneamente ligados. Tal problema tem obrigado a utilização contínua dos dois filtros desta sintonia, em desacordo com o projeto original. Isto tem dificultado severamente a realização de manutenções preventivas.

Adicionalmente, a indisponibilidade destes dois filtros deixa o sistema de corrente contínua vulnerável, sendo necessário reduzir a potência transmitida para cerca de 160 MW (mínimo de dois conversores), o que em termos práticos significa interromper a sua operação. Este limite de 160 MW durante a indisponibilidade destes filtros, deve ser obedecido por projeto, para evitar possíveis consequências para a operação do Elo CC, tais como: agravamento dos problemas de falha de comutação após curto-circuito, aquecimento e saturação de transformadores, sobretensões transitórias e influência na operação correta de relés.

## 7.0 - SUPERVISÃO DOS HARMÔNICOS

Os ramos de 3º/5º harmônicos dos filtros ZRC e ZRN, o resistor e os reatores são os componentes do filtro a serem protegidos pela proteção de sobrecarga harmônica, visando evitar queima dos seus componentes. Esta proteção recebe informação das três fases em três pontos diferentes (placas P1, P2 e P3) do ramo 3º e 5º dos bancos de filtros. Esta informação que entra na **placa de proteção** é transformada em uma grandeza medida em milivolts, que em seguida é integralizada para então ser utilizada pela proteção que está ajustada para atuar quando o nível de milivolt atinge 827 mV. Esta mesma informação que é utilizada pela placa de proteção P3 dos filtros ZRC e ZRN é empregada na geração de alarmes quando o carregamento em qualquer das fases atinge 75% do nível de trip (827 mV).

## 8.0 - SUPERVISÃO NOS CENTROS DE OPERAÇÃO

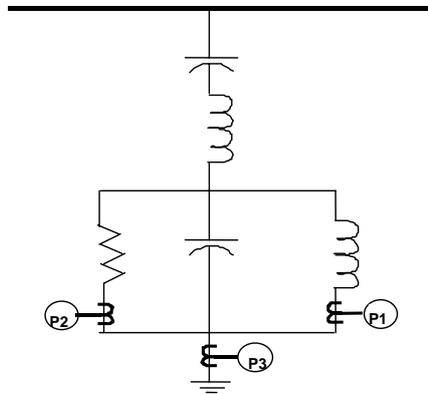


FIGURA 4 – Diagrama unifilar do ramo de 3º/5º harmônicos dos filtros ZRC e ZRN da SE Ibiúna 345 kV

O Sistema de Supervisão e Controle dos Centros de Operação do COSR-SE, do CTOS.O (FURNAS) e do COL-CP recebem informação da medida de milivolt de apenas uma das fases dos filtros ZRC e ZRN. Esta medida (integralizada) é obtida através de uma placa instalada em paralelo com a placa de proteção P3, e tem o objetivo de nortear os operadores quanto à tomada de decisão dos procedimentos contidos em instrução de operação. No COSR-SE esta informação é tratada e discretizada para que gere dois níveis de alarme (nível 1 = 617 mV e nível 2 = 710 mV). O COSR-SE, em conjunto com o COL-CP, tem a responsabilidade de manter os níveis de carregamento das correntes harmônicas nos filtros abaixo do nível 1 para prevenir possíveis alterações bruscas no carregamento, que é um comportamento típico.

## 9.0 - MEDIÇÕES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÕES E CORRENTES NOS NA SE IBIÚNA

### 9.1 Análise Global das Medições de Tensão na SE Ibiúna 345 kV

A figuras a seguir apresentam os resultados globais das medições de tensão na barra de 345kV da SE Ibiúna. A Figura 5 mostra a tensão RMS em % da tensão base de 199,19 kV no barramento de 345 kV da SE Ibiúna. Nesta pode ser notado que a tensão eficaz na maior parte do tempo se manteve na faixa de 98 a 104%, atingindo os valores mínimo e máximo de 97% e 105%, respectivamente. Conforme pode ser notado pela Figura 6, a distorção de tensão harmônica total (DTHT) no barramento de 345kV da SE Ibiúna, em % da Tensão Base de 199,19 kV, ficou abaixo de 0,80%, onde a distorção na fase C ficou acima das demais. Esta diferença está relacionada ao 3º harmônico ser mais elevado na fase C que as outras duas como pode ser visualizado pela Figura 7 que mostra a distorção de 3º harmônico de tensão em % da tensão base de 199,19 kV na barra de 345 kV. A Figura 8 mostra o comportamento da componente de 5º harmônico no barramento de 345kV da SE Ibiúna também em % da tensão base de 199,19 kV. Nesta figura pode ser observado que com a entrada em operação da LT 500 kV Ibiúna / Bateias, a partir do dia 21/03, ocorreu uma diminuição da distorção de 5º harmônico.

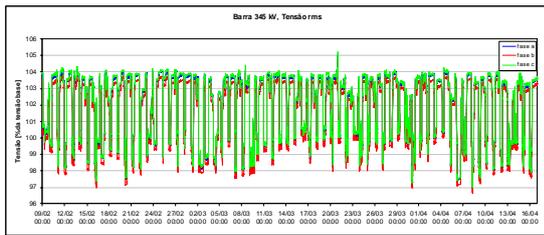


FIGURA 5 – Tensão RMS em % na SE Ibiúna 345kV

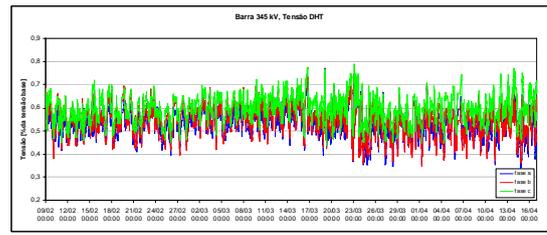


FIGURA 6 - Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT) em %

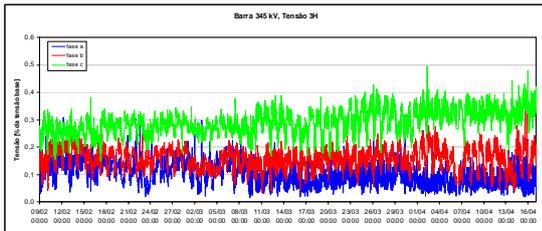


FIGURA 7 – Distorção de 3º Harmônico de Tensão em %

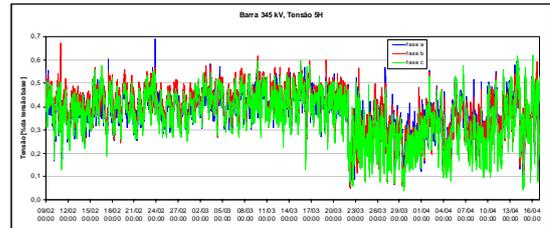


FIGURA 8 – Distorção de 5º Harmônico de Tensão em %

9.2 Análise Global das Medições de Corrente RMS no Filtro ZRC

As Figuras 9 a 16 mostram o comportamento harmônico no filtro ZRC no período de 07/02 a 07/03/2003. Os gráficos com a corrente eficaz nos ramos série e paralelo apresentam resultados em Ampères no secundário, sendo necessário multiplicar pela RTC (150/1) para obter o valor no primário. As distorções harmônicas total e individuais são apresentadas em valores percentuais referidos à corrente base única para os ramos série e paralelo no filtro ZRC de 670 mA.

• Correntes RMS e Distorções Harmônicas no Ramo Série do Filtro ZRC

A Figura 9 mostra a corrente RMS no ramo série do filtro de 3º/5º harmônicos do banco ZRC. Nesta figura observa-se que a corrente total no filtro varia ciclicamente ao longo dos dias, conforme o período de carga. Esta variação se mantém na faixa de 103 a 115% da corrente base, com os menores valores sendo verificados nos períodos da madrugada.

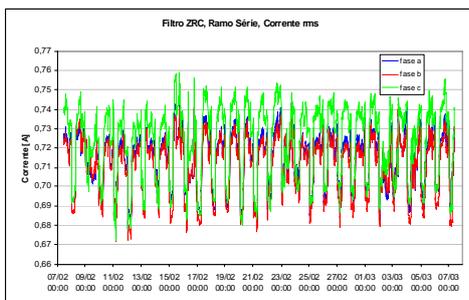


FIGURA 9 - Corrente RMS em [A]

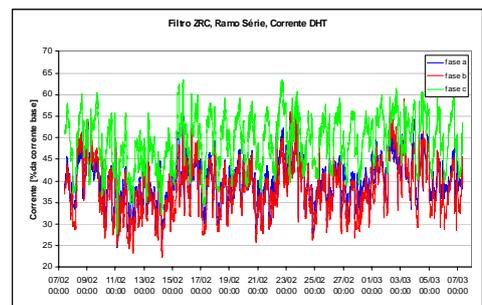


FIGURA 10 - Distorção Total Harmônica de Corrente em %

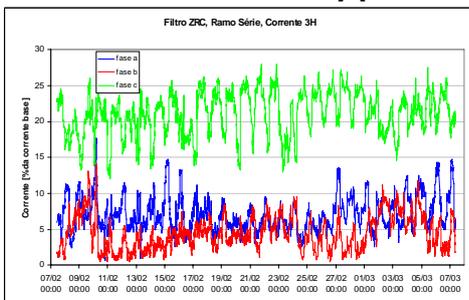


FIGURA 11 - Distorções de 3º Harmônico de Corrente em %

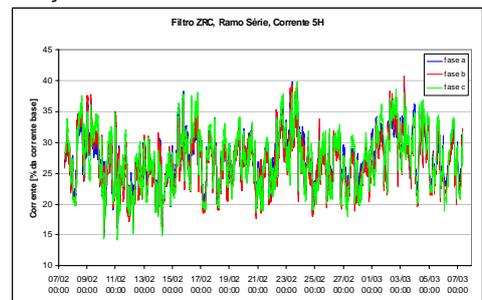


FIGURA 12 – Distorções de 5º Harmônicos de Corrente em %

A Figura 10 apresenta o comportamento da distorção total harmônica de corrente no ramo série do filtro ZRC, que mostra valores bastante elevados, sendo que a DTHI máxima foi de 63% na fase C (57% nas fases A e B) na base de 0,67 A. Estes valores máximos de corrente RMS e de DTHI na fase C são basicamente função do nível de 3º harmônico ser bem maior nesta fase do que nas outras fases, como pode ser visualizado na Figura 11.

Na Figura 11 que apresenta o comportamento da distorção de 3º harmônico de corrente no ramo série do banco ZRC, nota-se que a distorção máxima de 3º harmônico atingiu aproximadamente 28% na fase C (17% e 14% nas fases A e B, respectivamente). Na Figura 12 tem-se a distorção de 5º harmônico de corrente. Nesta nota-se que a distorção máxima de 5º harmônico atingiu 41% na fase B (40% nas fases A e C) e é possível observar a modulação ao longo da semana do 5º harmônico, que apresenta maiores valores nos finais de semana.

- **Correntes RMS e Distorções Harmônicas no Ramo Paralelo do Filtro ZRC**

Na Figura 13 observa-se que a corrente total RMS máxima no ramo paralelo do filtro ZRC foi de aproximadamente 0,678 A na fase C (e 0,670 A nas fases A e B), que corresponde a um valor de 101,7 A (multiplicado pela RTC).

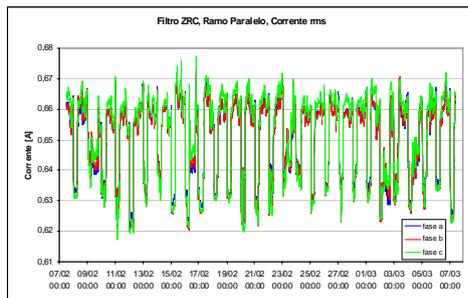


FIGURA 13 - Corrente RMS em [A]

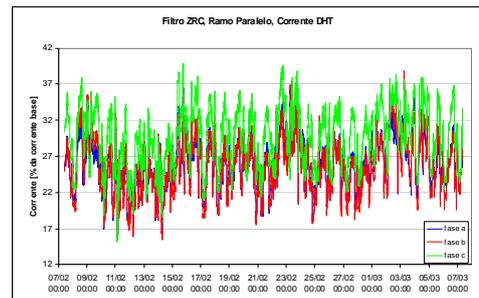


FIGURA 14 - Distorção Total Harmônica de Corrente em %

A Figura 14 apresenta o comportamento da distorção total harmônica de corrente no ramo paralelo do filtro ZRC, sendo que a DTHI máxima foi de aproximadamente 40% na fase C (e 38% nas fases A e B) na base de 0,67 A.

Estes valores máximos de corrente RMS e de DTHI na fase C são basicamente função do nível de 3º harmônico ser bem maior nesta fase do que nas outras fases, como pode ser visualizado na Figura 15. Pela Figura 15 nota-se que a distorção máxima de 3º harmônico atingiu aproximadamente 11,8% na fase C (7,0% nas fases A e B)..

A Figura 16 apresenta o comportamento da distorção 5º harmônico de corrente no ramo paralelo do filtro ZRC. Por esta figura nota-se que a distorção máxima de 5º harmônico atingiu aproximadamente 27% na fase B (sendo que nas fases A e C foram de 26%) na base de 0,67A. Da mesma forma que para o ramo série é possível observar a modulação ao longo da semana da componente de 5º harmônico.

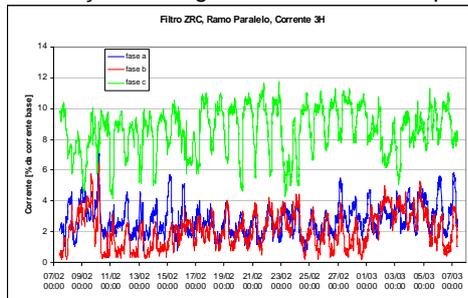


Figura 15 - Distorções de 3º Harmônico de Corrente em %

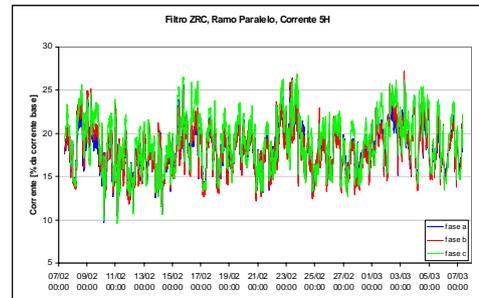


Figura 16 – Distorções de 5º Harmônicos de Corrente em %

## 10.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no período da campanha de medições na SE Ibiúna apresentaram as seguintes constatações importantes:

- Não foram identificadas quaisquer violações dos índices de distorções harmônicas total ou individuais de tensão apresentados no Submódulo 2.2 – “Padrões de Desempenho da Rede Básica” dos Procedimentos de Rede do ONS.
- Os resultados das análises da campanha de medições harmônicas na SE Ibiúna, nos levaram a concluir que as sobrecargas nos ramos de dupla sintonia de 3º e 5º harmônicos dos filtros ZRC e ZRN são de caráter sistêmico. Muito embora os valores de distorções total e individuais nesta SE estejam dentro dos limites permissíveis, a contribuição das correntes harmônicas provenientes das linhas de 345 kV que chegam a Ibiúna têm levado a necessidade de operar o Elo CC sempre com os dois ramos de filtros de 3º e 5º harmônicos, diferentemente do projeto original que previa a operação com somente um conjunto.

- Os resultados mostraram que a corrente de 3° harmônico que entra neste ramo de dupla sintonia de 3° e 5° harmônicos dos filtros ZRC e ZRN é bem maior na fase C que nas demais fases, chegando em algumas situações a ficar próxima do valor da corrente de 5° harmônico destes filtros que é preponderante e se apresenta de forma equilibrada entre as fases. Recomenda-se a apuração da causa para o aparecimento deste desequilíbrio e qual seria a melhor forma de eliminá-lo.
- A entrada em operação da LT 500 kV Ibiúna / Bateias determinou uma pequena diminuição no perfil do índice de 5° harmônico medido na tensão da SE Ibiúna 345 kV, refletindo-se também na Distorção Total de Tensão.
- A manobra de banco de capacitor em Ibiúna ou Tijuco Preto não provocou alteração sensível na distorção de tensão ou na corrente dos ramos de 3° e 5° harmônicos dos filtros ZRC e ZRN.
- A manobra de banco de filtros de outras sintonias não levou a grande modificação no comportamento da corrente dos ramos de 3° e 5° harmônicos dos filtros ZRC e ZRN.
- O desligamento de filtros de mesma sintonia provocou elevação sensível dos índices de distorção harmônica de tensão para 180 e 300 Hz.
- A abertura de um circuito da LT 345 kV Ibiúna / Guarulhos não mostrou variação sensível do módulo da corrente eficaz no filtro monitorado.
- A abertura de um circuito da LT 345 kV Ibiúna / Tijuco Preto provocou uma redução de até 2% na corrente destes ramos, e apresentou poucos reflexos sobre a Distorção Total de Tensão .
- O desligamento de um circuito da LT 345 kV Interlagos / Ibiúna em condição de carregamento mais elevado nos ramos de 3° e 5° harmônicos dos filtros ZRC e ZRN provocou uma redução bastante sensível na corrente destes ramos, normalmente na faixa de 2 a 6% do seu valor nominal, e apresentou reflexos diretos na tensão.
- O módulo da corrente eficaz nos ramos de 3° e 5° harmônicos dos filtros ZRC e ZRN e a sua componente harmônica são influenciados pelo valor da tensão em Ibiúna 345 kV. Valores mais elevados de tensão correspondem a maiores valores de corrente e de índices de distorção harmônica.
- As análises das medições e do monitoramento do Elo CC levaram a decidir pela operação do Elo CC o mais "flat" possível e que durante as condições de carga pesada e média o Elo CC deverá estar operando na faixa ente 4700 MW e 1900 MW, de acordo com a tabela a seguir, devendo este operar o mais flat possível em 4700MW. Para condições de carga leve e mínima o Elo CC deve operar com potência no máximo de 3200 MW, dentro da faixa de 1900 MW a 3200MW com o correspondente conjunto mínimo de filtragem.
- Também de acordo com estas análises, foi alterado o item 10 - Procedimentos Específicos Quando da Atuação de Alarme de Sobrecarga Harmônica na SE Ibiúna da IO-ON.ECC - "Operação Normal do Elo de Corrente Contínua", para que seja aberto primeiro um dos circuitos da LT 500 kV Ibiúna / Bateias quando da verificação de sobrecarga nos filtros de 3° e 5° harmônicos se o carregamento do circuito a ser desligado for inferior a 900 A. Caso o carregamento deste circuito seja superior a 900 A, deverá ser desligado um dos circuitos da LT 345kV Ibiúna / Interlagos, desde que a soma dos fluxos em TR Cabreúva 440/230 kV, TR Embu Guaçu 440/345 kV, LT 345 kV Ibiúna / Interlagos C1 e C2 e LT 345 kV Tijuco Preto / Baixada C1, C2 e C3, estiver abaixo de 4200MW.
- Tendo sido aberto um dos circuitos da LT 500 kV Ibiúna / Bateias quando da verificação de sobrecarga nos filtros de 3° e 5° harmônicos, caso esta sobrecarga persista, um dos circuitos da LT 345kV Ibiúna / Interlagos poderá ser aberto, desde que a soma dos fluxos em TR Cabreúva 440/230 kV, TR Embu Guaçu 440/345 kV, LT 345 kV Ibiúna / Interlagos C1 e C2 e LT 345 kV Tijuco Preto / Baixada C1, C2 e C3, estiver abaixo de 4200MW.
- Como pode ser verificado, o desligamento da LT 345 kV Interlagos / Ibiúna requer alguns cuidados e nem sempre é possível de ser realizado. É necessária a verificação da topologia da rede básica e uma análise considerando que a ausência deste equipamento não comprometerá a operação segura do sistema elétrico.
- A sobrecarga harmônica é tratada pelo ONS como uma ocorrência grave, e requer, em última instância, ações de controle drásticas com desligamento de linha de transmissão.
- A grande preocupação de se manter níveis aceitáveis de harmônicos reside na possibilidade da operação da proteção de sobrecarga nos filtros ZRC e ZRN da SE Ibiúna sem os quais recomenda-se a redução da potência do Elo CC para 160 MW, o que significa comprometer seriamente o abastecimento de energia para a área São Paulo.

## 11.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – Relatório Técnico ONS RE3 221/2003 “Medições na Subestação de Ibiúna 345 kV” – Síntese Gerencial.
- [2] - Nota Técnica DEE.O.002.2003 – “Campanha de Medições de Harmônicos em Ibiúna”, julho/2003, FURNAS
- [3] - Antonio P. Guarini, Arthur S. S. Rosa, Fernando R. Lage e Patrick B. Alcântara, “Sobrecarga Harmônica – Visão do Tempo Real”, Cinter – Ciclo Interno de Debates, Novembro/2003.
- [4] – Submódulo 3.8 “Requisitos Técnicos para Conexão à Rede Básica” dos Procedimentos de Rede do ONS, Revisão 2, 25/03/2002.
- [5] - Submódulo 2.2 – “Padrões de Desempenho da Rede Básica” dos Procedimentos de Rede do ONS, Revisão 0, 09/10/2000.