

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HARMÔNICO EM REGIME TRANSITÓRIO DOS COMPENSADORES ESTÁTICOS DE BANDEIRANTES (FURNAS)

Ricardo de Azevedo Dutra

FURNAS Centrais Elétricas S.A.

Rua Real Grandeza, 219 CEP : 22283-900 - Rio de Janeiro

Fax : (021) 528-4455

Tel : (021) 528-5807

e-mail : radutra@furnas.com.br

Resumo - O trabalho apresenta a primeira parte de um estudo realizado com o objetivo de se analisar o comportamento harmônico em regime transitório dos Compensadores Estáticos de Bandeirantes (FURNAS). Nesta etapa foram documentados os perfis dinâmicos de distorção harmônica na barra em que estes equipamentos estão conectados, durante a ocorrência de distúrbios na área para, em seguida, determinarmos o comportamento dos CEs visando a validação dos ajustes de suas proteções e parâmetros de controle, em uma etapa posterior.

Palavras-chave : compensadores estáticos, comportamento transitório, qualidade de energia.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi motivado pela investigação que se fez necessária para estudo do comportamento dos Compensadores Estáticos da SE - Bandeirantes de FURNAS, na região de Goiânia-GO (localização apresentada na figura 1), tendo em vista a redefinição dos ajustes das proteções de assimetria, baseada em componentes de segundo harmônico, em regime permanente e principalmente em regime transitório de operação.

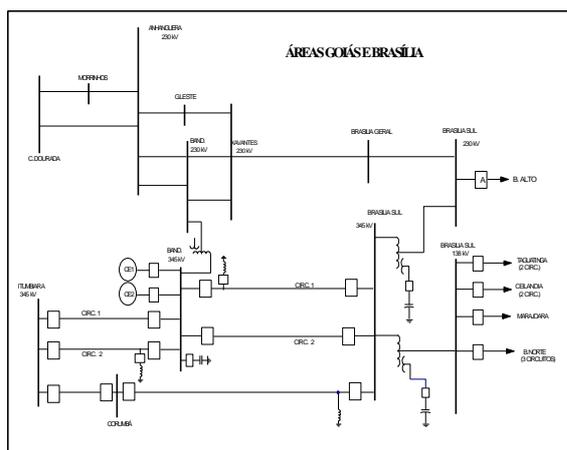


FIGURA 1 : Posicionamento dos CEs na área GO/BR.

O estudo completo envolve basicamente 3 partes, a saber : análise dinâmica da distorção de tensão na

barra a que estão conectados ; análise dinâmica da interação dos CEs com o sistema e re-validação dos ajustes de proteção e controle. Devido ao curto tempo em operação dos dois CEs (3 meses), o estudo completo está em desenvolvimento, tendo já sido realizada a primeira parte do mesmo, condensada nos tópicos seguintes.

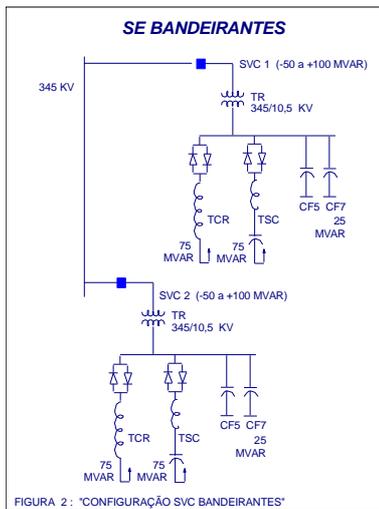
O objetivo deste trabalho é, portanto, apresentar a primeira parte do estudo de comportamento, através da análise espectral das distorções de tensão realizada durante o período em que os Compensadores Estáticos de Bandeirantes estiveram em operação comercial desde seu comissionamento, durante transitórios de sistema, provendo interação harmônica com o sistema ao qual estão conectados.

2. SISTEMA SOB ANÁLISE

Os compensadores estáticos de Bandeirantes (2 x [-50/+100 MVar]) são idênticos e formados por um reator controlado a tiristores (TCR), um capacitor chaveado a tiristores (TSC) e dois bancos de filtros sintonizados em 5° e 7° harmônicos, conforme diagrama apresentado na figura 2. Devido a problemas de funcionamento, os CEs de Bandeirantes, inicialmente previstos para entrarem em operação em meados de 1991, foram substituídos por equipamentos de outro fabricante e comissionados em novembro de 1996 e maio de 1997, com desempenho perfeitamente adequado ao sistema que está regulando. Por serem equipamentos de compensação de reativos compostos de reatores controlados por válvulas tiristorizadas, podem gerar (e absorver) distorção harmônica na rede, e entre outros recursos, seu sistema de proteção e controle possui a disponibilidade de detecção de formas assimétricas e desequilibradas, determinadas, as primeiras, por componentes de segundo harmônico. Desta forma uma investigação do comportamento harmônico neste sistema é extremamente útil para aferição de desempenho e redefinição de ajustes necessários.

Através do sistema de oscilografia digital realizamos estudos de comportamento dinâmico durante diversas ocorrências de distúrbios na área, com o

objetivo de se analisar a interação destes seu desempenho transitório e se atingir uma melhor definição de ajustes.



A análise destes comportamentos foi executada utilizando-se seu sistema de supervisão digital e a aplicação de softwares matemáticos de apoio, permitindo um estudo pontual, com visualizações gráficas que são apresentadas neste trabalho de forma simplificada para sensibilidade geral dos mesmos.

3. ASPECTOS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Diante das perspectivas do sistema de transmissão, do aumento do número de compensadores estáticos e de cargas retificadoras especiais como fornos de indução e a arco, etc, verificou-se ser necessária a atualização e a implementação de novas técnicas e conceitos nos estudos de operação destes sistemas.

Com a crescente importância da qualidade de energia elétrica e da necessidade de melhoramento do fator de potência das instalações industriais face a legislação atual, tornou-se de suma importância a análise do comportamento harmônico tanto das cargas não lineares existentes quanto da influência destas em conjunto no sistema de transmissão e de distribuição. Dependendo das características elétricas do sistema e do próprio consumidor, as correntes harmônicas injetadas nos sistemas de transmissão e/ou de distribuição pode levar a distorções maiores que os limites permissíveis. Outro ponto importante é o fato da instalação de bancos de capacitores, para aumento do fator de potência, poder causar ressonâncias na rede levando a ampliações das distorções harmônicas.

A crescente quantidade de cargas não lineares no sistema levou as empresas ao desenvolvimento de

equipamentos no sistema, assim como se conhecer programas digitais e aperfeiçoamento dos modelos existentes para suporte a estudos, especificações e projetos de filtros e/ou bancos de capacitores de sistemas de transmissão, de compensação estática, e de consumidores industriais, com vista a melhoria da qualidade de energia elétrica do sistema brasileiro.

A análise de comportamento harmônico de uma rede elétrica trifásica pode ser feita no domínio do tempo ou no domínio da frequência. No domínio do tempo utilizam-se programas para obtenção das correntes e/ou tensões de interesse e posteriormente com auxílio de rotinas do tipo FFT (Fast Fourier Transform) são obtidos os espectros de frequências destas variáveis.

FURNAS tem como seus consumidores outras concessionárias de energia elétrica e consumidores industriais. Assim sendo, conduz análises nas fases de planejamento e operação para garantir que equipamentos geradores de harmônicos ou distúrbios em sua rede não causem desligamentos desnecessários, que podem levar em perda de produção por parte do consumidor final. O procedimento em FURNAS consiste em realizar estudos de maneira a verificar os níveis de harmônicos provocados por equipamentos que utilizem eletrônica de potência, com objetivo de determinar o nível de filtragem para reduzir as distorções da tensão e corrente a padrões aceitáveis, transitórios provocados por chaveamentos de transformadores e capacitores, e determinação do desequilíbrio da tensão (sequência negativa). Além disso, FURNAS mantém um programa de medições de harmônicos em diversas SE's do sistema nas fases pré-comissionamento e pós-comissionamento de equipamentos que gerem correntes harmônicas, de maneira a investigar os níveis de Qualidade de Energia nessas fases.

4. A "PROTEÇÃO HARMÔNICA"

Os compensadores estáticos de Bandeirantes possuem esquemas de "proteção harmônica" que tem como objetivo proteger e controlar sua operação diante de comportamentos harmônicos indesejados, conforme descreveremos a seguir :

a) Proteção de Assimetria :

A proteção de assimetria verifica uma possível diferença entre as duas polaridades de condução do TCR, através da comparação de SQSVS (potência do SVS) e uma fase da tensão primária, emitindo alarme, PFTCR (protective firing) e comando de disparo, se forem ultrapassados seus ajustes de 2 % com tempos de atuação próximos de 11 seg.

b) No sistema de controle existem dois circuitos de balanceamento com objetivo de equalizar as correntes do TCR, minimizando a geração de harmônicos em operação normal, quais sejam : o balanceamento trifásico das correntes e o balanceamento de segundo harmônico. Através de comandos manuais é possível habilitar ou desabilitar estes balanceamentos, além de definir o percentual máximo para alarme e o tempo de permanência fora do limite para alarme. Durante a operação normal, onde estes limites não são atingidos, o controle de regulação de malha é individual por ramo do TCR de forma a equalizar as 3 correntes. Acima do limite este balanceamento não contribui mais na equalização das 3 correntes. O balanceamento de segundo harmônico procura zerar a componente dc da corrente em cada ramo do TCR.

5. DISTÚRBIOS ANALISADOS

Para desenvolvimento do estudo de comportamento dinâmico descrito anteriormente, foram analisadas as seguintes ocorrências de distúrbios na região próxima a SE Bandeirantes :

TABELA 1 : TABELA DE EVENTOS DO RDP RELACIONADOS A DISTÚRBIOS NO SISTEMA

RDP	DAT A	HOR A	EVENTO	TIPO
06DD	03/12	16:35	LT-BT/P.BERNARDO-69 KV	B
086A	02/12	14:10	LT-BT/URUAÇU-69 KV(prov.)	B/A-B
08DC	18/03	02:18	LT-ANH/PALM/FIRM-138 KV	B-C
093C	31/03	20:42	LT-BD/BS 2 - 345 KV	A
0B65	22/05	15:31	Falha bifásica local indeterminado	A-B
0B6B	23/05	12:15	LT-IM/EMBORC-500 KV	A-C
0B6D	24/05	15:19	LT-XAV/G.L./BD/ANH-230 KV	C
0C14	22/06	13:21	Falha bifásica local indeterminado	B-C
0C19	18/07	10:20	LT-CO/BS+REAT - 345 KV	A
0C1A	22/07	08:58	Falha bifásica local indeterminado	B-C
0C1B	26/07	12:52	LT-BS/TAG 2 - 138 KV	A-B

Para visualização geral do comportamento transitório dos compensadores estáticos, apresentamos nas figuras 3 e 4 os oscilogramas do CE 2 durante o distúrbio 0C1B (falha bifásica na linha Brasília Sul / Taguatinga 138 kV). Na figura 3 observamos as três fases de tensão da barra de 345 kV, em rms, e na figura 4 todas as grandezas relacionadas ao CE 2.

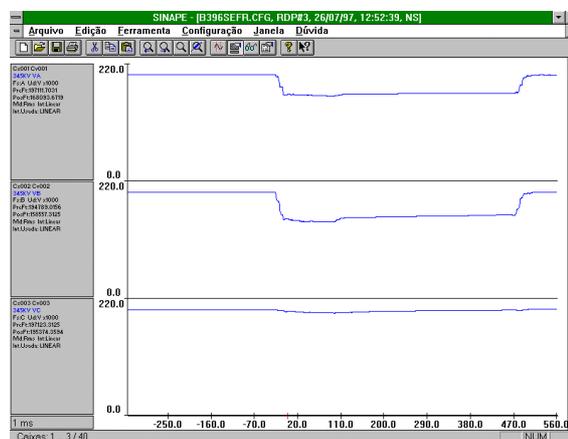


Figura 3 : As 3 fases de tensão da barra de 345 kV, em rms.

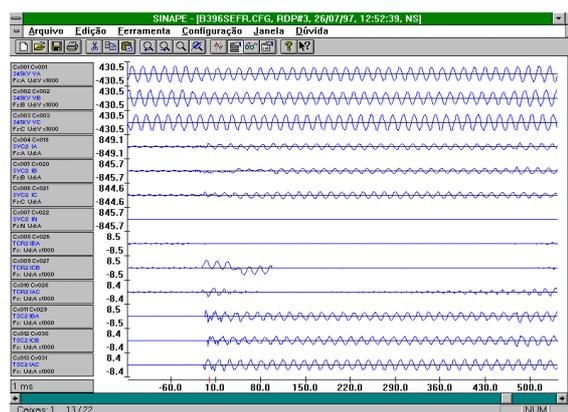


Figura 4 : Oscilograma do CE 2.

6. RESULTADOS

Os sinais de tensão da barra de 345 kV (canais 1, 2 e 3) foram submetidos a análise espectral (FFT), utilizando-se as janelas de amostragem apresentadas na figura 5, para facilitar a mitigação dos dados registrados no oscilógrafo digital, em todas as ocorrências :

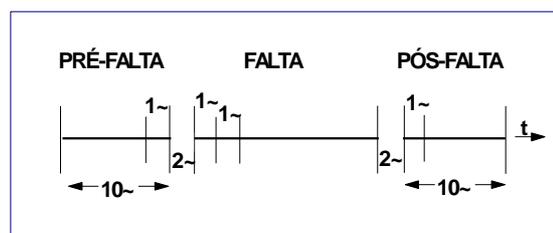


Figura 5 : Janelas de amostragem para FFT.

Estas 6 análises de cada registro oscilográfico foram plotadas em diagramas de bloco tridimensional visando permitir uma visualização no domínio do tempo para cada harmônico, assim como visualizar o espectro harmônico em cada janela temporal. Os gráficos das figuras 6 a 16, a seguir, apresentam o resultado desta diagramação, correspondendo, cada um deles, a cada uma das ocorrências de distúrbio analisadas, utilizando-se, para efeito comparativo, a mesma escala em todos os gráficos. Abaixo dos gráficos foram incluídas as tabelas de valores correspondentes a cada nível de distorção.

Na análise espectral apresentada foi selecionada, dentre as tensões da barra, a correspondente a fase mais significativa, que coincide com a fase faltosa no caso de faltas monofásicas e a primeira das fases faltosas no caso de faltas bifásicas. Não foi registrado, neste período, nenhuma falta trifásica.

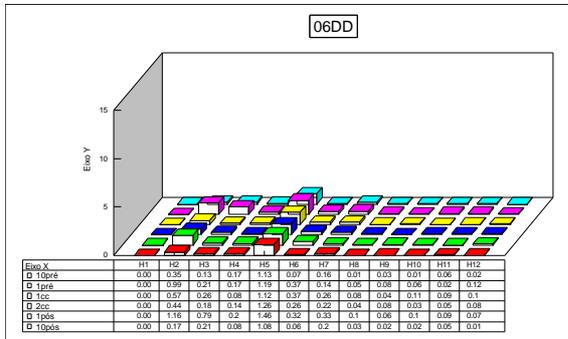


FIGURA 6 : Análise espectral do oscilo 06DD.

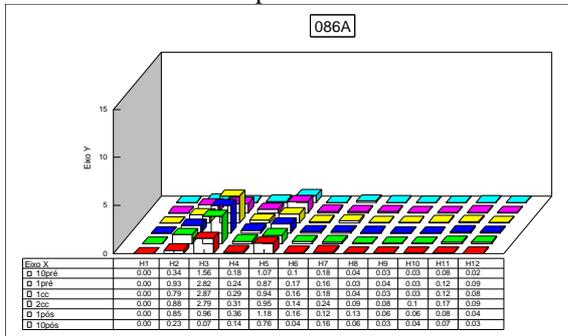


FIGURA 7 : Análise espectral do oscilo 086A.

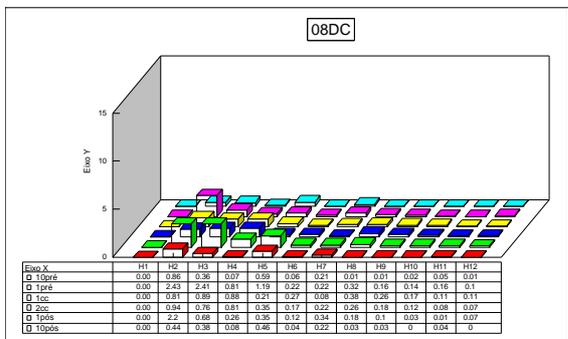


FIGURA 8 : Análise espectral do oscilo 08DC.

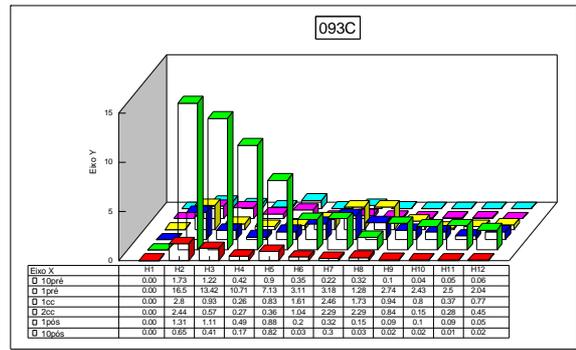


FIGURA 9 : Análise espectral do oscilo 093C.

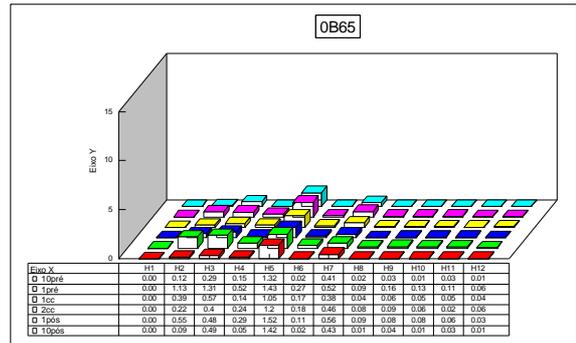


FIGURA 10 : Análise espectral do oscilo 0B65.

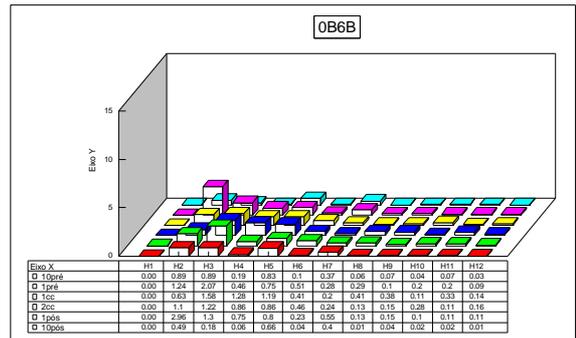


FIGURA 11 : Análise espectral do oscilo 0B6B.

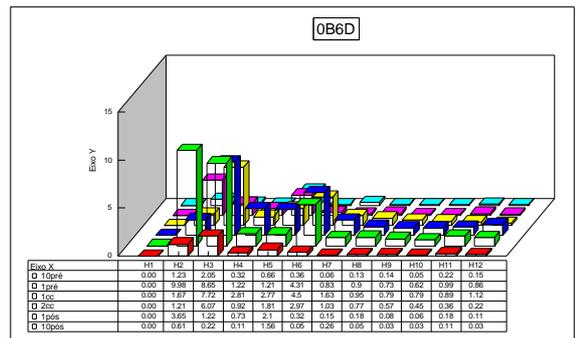


FIGURA 12 : Análise espectral do oscilo 0B6D.

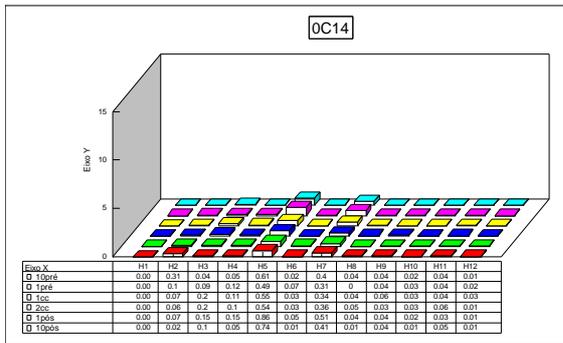


FIGURA 13 : Análise espectral do oscilo 0C14.

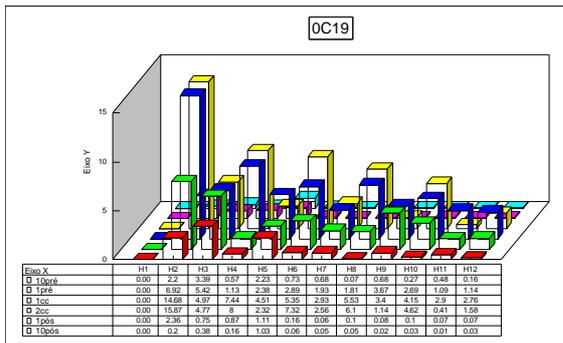


FIGURA 14 : Análise espectral do oscilo 0C19.

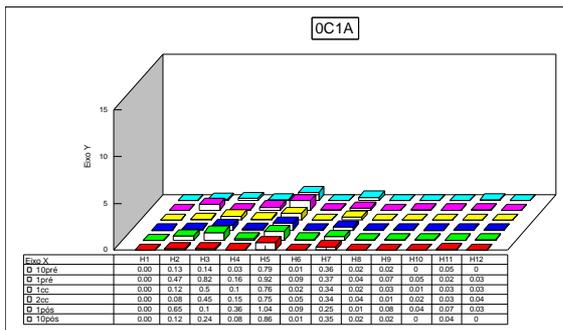


FIGURA 15 : Análise espectral do oscilo 0C1A.

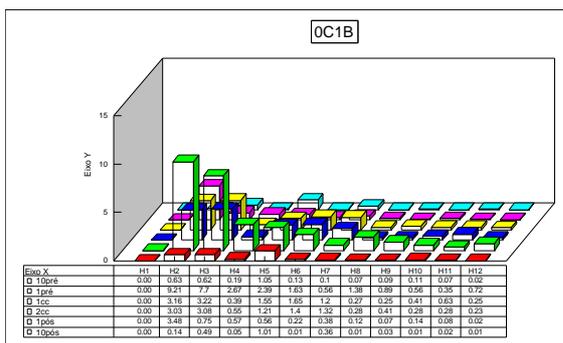


FIGURA 16 : Análise espectral do oscilo 0C1B.

Apesar do número razoável de registros (11) coletados, o processamento estatístico dos dados, como média ou mediana de valores, ou totais acumulados, não se aplica nesta análise devido às características diferentes das faltas aplicadas, existindo assim a necessidade dos mesmos serem analisados individualmente, até que seja possível a

determinação de perfis qualitativos que possam generalizar os parâmetros de ajuste que se pretende revalidar. Este é o propósito da apresentação sequencial destes gráficos, podendo mesmo com perda da visão total, também serem visualizados de formas diferentes e mais convencionais, para investigações pontuais específicas.

Também foram plotados gráficos deste mesmo tipo, mas com escalas diferentes, maximizando os valores de distorção. Esta apresentação foi particularmente útil na análise qualitativa da evolução do espectro, não sendo recomendável, no entanto, para efeitos comparativos.

Diferentes tipos de gráficos foram adicionalmente preparados, para a análise conjunta dos comportamentos dos CEs na próxima etapa.

7. CONCLUSÕES

O conjunto de resultados apresentados pode ser utilizado para a consolidação de algumas conclusões importantes, mas a análise mais conclusiva será alcançada após o desenvolvimento da próxima etapa, quando será mapeada a interação harmônica dos compensadores estáticos com o sistema a que estão conectados. Até a finalização desta segunda etapa estão sendo elaborados, a partir dos resultados já alcançados, alguns caminhos de investigação mais aprofundados, que indicariam as alternativas de otimização dos ajustes de proteção e controle dos CEs, e até mesmo estudos de sistema mais gerais.

Os registros foram classificados em 3 grupos, em função do nível de resposta harmônica do sistema, quais sejam, os oscilogramas 093C, 0B6D, 0C19 e 0C1B, com alto nível de distorção, os oscilogramas 086A, 08DC e 0B6B, com média distorção e os oscilogramas 06DD, 0B65, 0C14 e 0C1A, com pequena distorção. Apesar do tipo de gráfico, que foi escolhido por apresentar uma melhor visualização 3D, não permitir uma ótica completa para as janelas dos últimos períodos de amostragem, em alguns casos pode ser observado que existe uma tendência de redução da distorção harmônica nos períodos pós-falta, possivelmente por atuação da regulação dos compensadores estáticos, o que não é sempre observável devido aos pontos de operação diferentes atingidos após os distúrbios.

Outro detalhe interessante a se observar é que a pronunciada presença de segundo harmônico no último ciclo pré-falta de alguns registros indica que a marcação de início da falta não foi precisamente determinada nestes registros, sem no entanto alterar o perfil qualitativo do espectro das grandezas analisadas.

A metodologia de tratamento e análise executada possibilitou uma grande quantidade de linhas de investigação possíveis para estudos de comportamento dinâmico das interações harmônicas dos compensadores estáticos com o sistema interligado, com conclusões possivelmente

generalizáveis a equipamentos similares, como FACTS, por exemplo, e sistemas, mesmo industriais, onde se deseje analisar de forma análoga, tanto sob a ótica dos centros geradores quanto sob a ótica dos consumidores industriais de médio e grande porte.