



21 a 25 de Agosto de 2006
Belo Horizonte - MG

Avaliação de Harmônicas no Barramento Secundário dos Transformadores Trifásicos de Baixa Tensão

Estefano Ignatowicz
Celesc
estefanoi@celesc.com.br

Rogério Bráz
Celesc
rogeriob@celesc.com.br

RESUMO

O trabalho tem a finalidade de apresentar o resultado e a avaliação das medições de harmônicas de tensão e corrente, por tempo sustentado tomados como limite permissível, durante um dia típico, medidos no secundário dos transformadores trifásicos de baixa tensão, no caso da Celesc em 380/220 volts, frente às condições de regime dos circuitos secundários.

O fator motivador deste trabalho técnico foi de conhecer o nível de harmônicas presentes nos barramentos secundários dos transformadores trifásicos de baixa tensão, considerando toda a carga instalada ao longo do circuito de baixa tensão. Sabe-se que as cargas não lineares, responsáveis pelo efeito harmônicas, estão em número expressivo em todos os setores de atividade. Nos circuitos secundários de distribuição, as cargas não lineares tendem, também, a ser expressivas nas unidades consumidoras do tipo residencial, comercial ou mesmo de pequenas indústrias atendidas pelos mesmos transformadores, incluindo os reatores eletrônicos de iluminação pública e o efeito da corrente de magnetização dos transformadores.

A forma escolhida e utilizada para medir e quantificar o nível de harmônicas presentes no secundário dos transformadores de distribuição deu-se por meio da escolha de uma amostra, considerando todos os transformadores trifásicos instalados na área de concessão da Celesc.

A metodologia do sorteio, randômica estratificada, considerou a aleatoriedade em agrupamentos de transformadores de acordo com cada faixa de potência estabelecida, resultando uma amostra de 125 transformadores, selecionados por meio de um planejamento amostral. Todas as medições foram realizadas utilizando equipamentos de medição eletrônicos de memória de massa.

O trabalho técnico mostra o resultado e a avaliação do comportamento das harmônicas de tensão e corrente de cada fase medida, do tempo médio de permanência e da proporção dos transformadores que sofreram violação de harmônicas, e, da média do tempo de violação por transformador por período e hora analisados.

PALAVRAS-CHAVE

Conformidade, Harmônicas, Transformadores.

1. INTRODUÇÃO

Nas redes de baixa e média tensão, a quantidade de cargas não lineares é crescente, o que torna o nível de harmônicas bastante significativo. Caso exemplo de medição e análise de situação, temos os barramentos secundários dos transformadores trifásicos de baixa tensão, no caso da Celesc em 380/220 volts.

E embora a medição individualizada de harmônicas por unidade consumidora ou centrada em um ponto da rede tem sido um método consagrado para avaliar as harmônicas de rede, ainda é pequeno o emprego de medição e análise de harmônicas utilizando métodos que envolvam um planejamento amostral, tendo como base um modelo matemático estabelecido e medições registradas por meio de medidores eletrônicos providos de memória de massa.

Nesta abrangência e potencialidade, este trabalho técnico procurou mostrar o resultado e a avaliação do comportamento das harmônicas de tensão e corrente de cada fase medida, do tempo médio de permanência e da proporção dos transformadores que sofreram violação de harmônicas, e, da média do tempo de violação por transformador por período e hora analisados.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Do fundamento básico das harmônicas, podemos dizer que quando se aplica uma tensão senoidal a uma carga linear toda a corrente flui na frequência fundamental do respectivo sistema de fornecimento em corrente alternada. Deste modo, ocorre a existência de uma relação linear entre tensão e corrente.

Porém, essa situação é diferente quando se trata de cargas não lineares. O desenvolvimento de correntes harmônicas a partir de uma carga não linear é resultado da aplicação de uma onda de tensão desenvolvendo, por conseguinte, a onda de corrente não senoidal, resultando na existência de uma corrente não linear entre tensão e corrente.

Nas instalações residenciais e comerciais, as harmônicas tem origem, principalmente, nas fontes dos equipamentos eletrônicos. Microcomputadores e impressoras, equipamentos de som, relógios digitais, aparelhos de fax, copiadoras, starters eletrônicos e outros, são alguns dos equipamentos existentes nos consumidores ligados nos circuitos secundários de distribuição em baixa tensão, no caso da Celesc, em 220V fase-neutro. Nas redes de energia comerciais são frequentes os problemas associados à grande concentração de equipamentos eletrônicos que introduzem níveis de distorção harmônicas nos circuitos elétricos. Geralmente nas redes de energia elétrica de concessionárias a quantidade de correntes harmônicas é pequena. No entanto, o conteúdo harmônico é, em geral, desenvolvido pelos processos dos próprios consumidores.

Qualquer carga não linear também gera tensões harmônicas nos sistemas, basicamente devido à circulação de correntes pelas impedâncias dos condutores elétricos. Como a tensão harmônica é produzida devido à impedância do sistema, a tensão resultante é propagada para todos os pontos a jusante, a partir daquelas impedâncias. Isto significa que irão circular correntes harmônicas pelas cargas lineares conectadas nesses pontos, uma vez que, agora, as correntes serão alimentadas por tensões não senoidais. As cargas não lineares, também vão gerar correntes harmônicas em proporções diferentes e, provavelmente, também em frequências diferentes do que se fossem alimentadas por tensões senoidais.

Esta análise abrange a maioria dos consumidores ligados nas diversas tensões de fornecimento. Normalmente, os estudos de harmônicas é direcionado para consumidores de porte considerado, e a medição é feita de forma individualizada, analisando as condições de trabalho do consumidor por meio da relação causa e efeito que as harmônicas possam estar comprometendo o meio produtivo. Preocupação quanto a qualidade do fornecimento, e, portanto também sujeitos a problemas de

interferência, estão os transformadores trifásicos de baixa tensão, que recebem cargas sensíveis das unidades consumidoras ligados no seu barramento secundário.

Como dito, os trabalhos voltados a harmônicas, normalmente, dizem respeito às medições e análise individualizada por unidade consumidora ou centrada em ponto de rede, normalmente centralizados nas harmônicas de corrente por se manifestarem em pontos localizados, que se justificam, pois os sistemas das concessionárias, normalmente, fornecem tensões próximas a senóides desprovidas de componentes harmônicos severos.

Medições tomadas em todo o universo de transformadores trifásicos de baixa tensão, e a conseqüente análise individual por transformador seriam onerosas e de pouco proveito frente aos diferentes tipos de circuitos e cargas ligados. No entanto, pode-se conhecer o comportamento das harmônicas de tensão e corrente presentes, envolvendo todos os transformadores numa visão centrada no plano amostral.

A forma alternativa encontrada, foi de conhecer o nível de harmônicas de tensão e corrente presentes nos transformadores, tomado nos barramentos secundários, estratificando o nível de harmônicas em cada período horário definido, utilizando-se de um planejamento amostral, envolvendo todos os transformadores da Celesc na análise do comportamento das harmônicas para limites permissíveis.

3. METODOLOGIA APLICADA

O corpo de regras estabelecido para a realização do estudo, tratamento e análise do conteúdo harmônicos de tensão e corrente presente nos barramentos secundários dos transformadores trifásicos de baixa tensão, no âmbito da Celesc, deu-se por meio de medições de harmônicas, utilizando instrumentos de medição existentes na Celesc, após definida a amostra de transformadores baseada em um modelo matemático e de indicadores de violação referenciados.

3.1. Tamanho e Seleção da Amostra

A metodologia para a definição da amostra de transformadores para medição, aplicada neste artigo, está baseada no modelo matemático apresentado quando do processo de revisão tarifária, realizado na Celesc. Foi definido o universo amostral de transformadores, estratificado por grupo de potência, dentro do erro esperado, conforme mostrado na Tabela 1. Os instrumentos de medição disponíveis na Celesc, possibilitavam a medição de todas as grandezas elétricas possíveis, incluindo as harmônicas de tensão e corrente por fase. Após o processo concluído, optou-se pelo aproveitamento das medições, para o estudo do conteúdo harmônico de tensão e corrente, que traz uma análise das condições e do comportamento dos transformadores de baixa tensão frente às condições atuais dos circuitos ligados aos barramentos secundários dos transformadores de distribuição da Celesc.

A amostra medida, forma de coleta e apuração dos dados, considerou, em termos de planejamento amostral, para a definição do tamanho da amostra, a estimativa em função da proporção de transformadores que sofreram violação com o número total de transformadores da amostra. O dimensionamento amostral levou em consideração o nível máximo de aleatoriedade, contemplando várias situações de influência própria de distribuição de consumidores ligados a sistemas elétricos urbanos e rurais.

Tabela 1 – Universo amostral de transformadores, por grupo de potências dos transformadores trifásicos

Universo Amostral					
Potência	Universo	CV (p.u.)	Erro (p.u.)	$(CV/2)^2$	Amostra
0-30 KVA	18.648	0,40	0,15	7,11	32
31-75 KVA	23.628	0,45	0,15	9,00	43
>75 KVA	4.187	0,45	0,15	9,00	50
TOTAL →					125

Procurou-se selecionar a amostra de tal forma que fosse totalmente aleatória e que a quantidade de medição que coubesse a cada Regional da Celesc fosse proporcional ao número de consumidores existentes em cada Regional. Foi arranjado para que todos os transformadores tivessem a mesma chance de participar da amostra.

3.2. Ponto de Tomada do Registro e do Período de Leitura

Todas as medições foram realizadas utilizando as estruturas das áreas operacionais da CELESC, tomadas diretamente no barramento do secundário do transformador trifásico de baixa tensão. Utilizou-se o período de amostragem de 1 (um) dia típico da semana, geralmente quarta-feira, com intervalos de integração de 5 (cinco) minutos, resultando em um total de 288 amostras.

Foi utilizado para as medições e análise dos valores registrados o Registrador Eletrônico MARH-VI, da RMS Sistemas Eletrônicos. Medição em tempo real, providos de software analisador de grandezas medidas e registradas.

As principais características do MARH-VI são medições de valores reais eficazes, intervalo de integração programável, 1024 kBytes de RAM e classe de exatidão 0,5 (IEC 348).

3.3. Subdivisão dos Períodos

Para uma análise mais abrangente do conteúdo harmônico, optou-se por dividir o período de amostragem de um dia (288 amostras) em três períodos, de acordo com o disposto abaixo:

Período: 08:05 – 18:00 hs → referente ao período diurno – 120 amostras

Período: 18:05 – 22:00 hs → referente ao período de ponta de carga – 48 amostras

Período: 22:05 – 08:05 hs → referente ao período noturno – 120 amostras

3.4. Cálculo do Conteúdo das Harmônicas

Para o cálculo das harmônicas de tensão e corrente foi utilizado o disposto na norma IEEE std 519-1992 - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

3.4.1. THD – Distorção Harmônica Total.

Utilizada para definir o efeito do conteúdo harmônico, é representada pela proporção da raiz quadrada do conteúdo harmônico pela raiz quadrada do valor da fundamental em porcentagem.

$$THD\% = \sqrt{\frac{\sum harmonic^2}{fundamental^2}} \cdot 100$$

3.4.2. TDD – Distorção Total de Demanda de Harmônica de Corrente.

Utilizada para linearizar o conteúdo harmônico de corrente de carga máxima do período, é representada pela proporção da corrente harmônica em porcentagem da máxima corrente de carga.

$$TDD\% = \frac{I_h}{I_{MAX}} \cdot 100$$

onde: I_{max} = Corrente de Carga Máxima;

I_h é representado pela seguinte relação em Amperes:

$$I_h = \frac{THD\% \cdot I_{rms}}{100 \cdot \sqrt{1 + \frac{THD\%^2}{100^2}}} \quad \text{onde: } I_{rms} = \text{Valor eficaz de Corrente (Valor real, incluindo as harmônicas)}$$

3.4.3. Referências Adotadas

Na análise do conteúdo harmônico de tensão e corrente a norma IEEE std 519-1992 recomenda:

- THD% de tensão, limita em 5% para o controle harmônico em sistemas elétricos.
- THD% de corrente, utiliza o fator linearizado de TDD%, que limita os valores de TDD de corrente em 5%, considerando a relação I_{sc}/I_F (máxima corrente de curto-circuito dividido pela máxima corrente de carga) não superior a 20.

3.5. Cálculo dos Índices de Violação Harmônica

A proposta dos índices de violação harmônica está relacionada à qualidade do fornecimento de energia elétrica avaliada por meio do atributo da conformidade, que pode ser traduzido como a capacidade do sistema elétrico de fornecer aos consumidores energia elétrica com tensão isentas de distorções e flutuações harmônicas.

3.5.1. Frequência Equivalente por Violação Harmônica – FEV_{HARM}

Representa a proporção dos transformadores que apresentaram valores de distorções harmônicas acima do máximo valor aceitável.

$$FEV_{HARM} = \frac{Cv_{Harm}}{Ca_H} \quad (I)$$

onde: Cv_{HARM} – número de transformadores com violação harmônica de corrente ou de tensão.

Ca_H – número de transformadores da amostra

3.5.2. Duração Equivalente de Violação Harmônica – DEV_{HARM}

Exprime a média dos espaços de tempo de ultrapassagem dos limites harmônicos aceitáveis por transformador, com duração igual ou superior a cinco minutos (uma amostra), no período de observação.

$$DEV_{HARM} = \frac{\sum_{v=1}^{Cv_{Harm}} \sum_{u=1}^x d_{vU_h}}{Cv_{Harm}} \quad (II)$$

Onde: Cv_{Harm} – número de transformadores com violação harmônica

v – contador do número de transformadores com violação harmônica, de 1 a Cv_{Harm}

d_{vU_h} – tempo de permanência em violação harmônica, referente a cada transformador, em múltiplos de 5 minutos.

x – número de situações do transformador v que violaram os limites preconizados

u – contador do número de situações do transformador v que violaram os limites preconizados.

4. TRATAMENTO DOS DADOS E RESULTADO DA ANÁLISE

O tratamento dos dados das harmônicas de tensão e corrente, obtidos por meio de medições nos barramentos dos transformadores trifásicos de baixa tensão, foi estruturado utilizando relatórios de saída do próprio software de análise das medições do medidor utilizado e por meio da exportação dos dados das medições para planilhas eletrônicas em formato Excell. Os dados do conteúdo Harmônico de Tensão foram tratados de maneira a possibilitar uma visão geral do comportamento do THD de Tensão, dos índices de violação e da duração das mesmas. Da mesma forma, foram tratados os dados do conteúdo Harmônico de Corrente, possibilitando uma visão geral do comportamento da TDD de Corrente assim como dos índices de violação e da duração das mesmas.

4.1. Estudo do Conteúdo Harmônico de Tensão

Para o estudo do conteúdo harmônico de Tensão, foi utilizado os valor de THD – Distorção Harmônica Total, limitando seus valores de acordo com o disposto na IEEE Std 519-1992 para o valor máximo de 5%. Foram considerados todos os valores, máximo, médio e mínimo, de Distorção Harmônica Total de Tensão, para as três fases medidas de cada transformador analisado. O Gráfico 01, mostra o comportamento da THD de tensão, de cada fase medida dos 125 transformadores analisados. Tensão de referência definida para 220 volts (1pu).

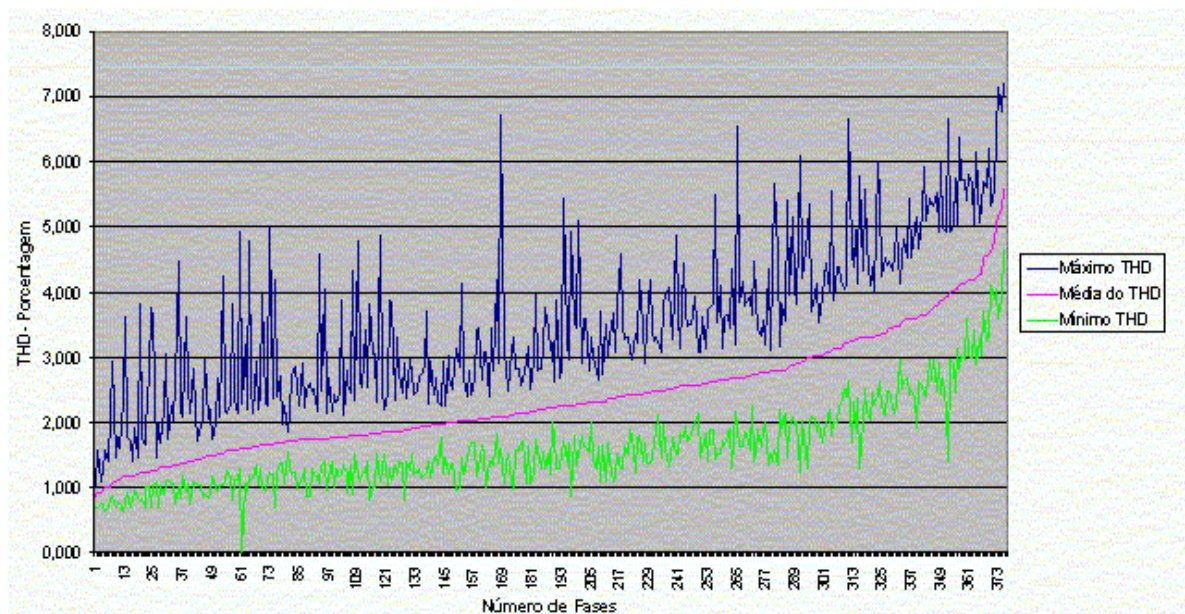


GRÁFICO 01 – Comportamento do THD de tensão em cada fase dos transformadores analisados

Observa-se, como mostra o gráfico 1, que poucas fases apresentaram valores de THD de tensão superiores aos 5% referenciado neste trabalho, refletindo no baixo $FEV_{V_{Harm}}$.

4.1.1. Índices de Violação Harmônica de Tensão

Para o cálculo dos índices de violação harmônica de tensão, foi considerada a fase de maior índice de THD de tensão de cada transformador analisado individualmente.

a) $FEV_{V_{harm}}$ - Frequência Equivalente por Violação Harmônica de Tensão por transformador:

Da equação I, temos:

$$FEV_{V_Harm} = \frac{23}{125}$$

$C_{V_{V_Harm}}$ – número de transformadores com violação harmônica de tensão → 23
 C_{aH} – número de transformadores da amostra → 125

$$FEV_{V_Harm} = 0,1840$$

assim, 18,40% dos transformadores amostrados apresentaram violações harmônicas de tensão .

b) DEV_{V_harm} - Duração Equivalente por Violação Harmônica de Tensão por transformador:

Para o cálculo da DEV_{V_Harm} – Duração Equivalente de Violação Harmônica de Tensão – o período de amostragem utilizado foi de um dia, com intervalos de integração de 5 minutos, resultando em um universo de 288 amostras para cada transformador analisado. Com base nesses dados, temos:

Da equação II, temos:

$$DEV_{V_Harm} = \frac{3995}{23}$$

$C_{V_{V_Harm}}$ – número de transformadores com violação harmônica de tensão → 23

$d_{V_{UH}}$ – tempo de permanência em violação harmônica de tensão, referente a cada transformador, em múltiplos de 5 minutos.

$$DEV_{V_Harm} = 173,70 \text{ min/ dia}$$

ou ainda, expressando em horas $DEV_{V_Harm} = 2,89 \text{ _horas / dia}$

Assim, utilizando-se da equação II, na Tabela 02 estão representados os tempos médios em horas e minutos de violação, para os demais períodos horários analisados.

Tabela 02 – Representação dos Tempos Médios de Violação dos Transformadores

Período	Tempo Médio de Violação		
	Em Horas	Em Minutos	% do Período
Média das Violações – 24 horas	2,89	173,4	12,06
Média das Violações – (08:05 – 18:00)	1,38	82,8	13,80
Média das Violações – (18:05 – 22:00)	0,20	12,0	5,07
Média das Violações – (22:05 – 08:00)	1,31	78,6	13,12

Observa-se, como mostra a tabela 02, os baixos valores de DEV_{V_Harm} para todos os períodos, refletindo a baixa ocorrência de Violações Harmônicas de Tensão. Ressalta-se ainda os valores mais baixos para o período das 18:05 – 22:00, horário de ponta de carga, na qual, em média, apenas 0,2 horas – 12 minutos – apresentaram valores com violação (apenas 5% do tempo do período, de 4 horas).

4.1.2. Tempo de Violação Harmônica de Tensão

Utilizando-se a divisão do período de amostragem nos três períodos acima e quantificando o tempo de violação de acordo com a sua duração, de 5 minutos, de 10 até 30 minutos, de 35 até 60 minutos e maior que 60 minutos, tem-se a representação dos tempos de violação mostrada no gráfico 02.

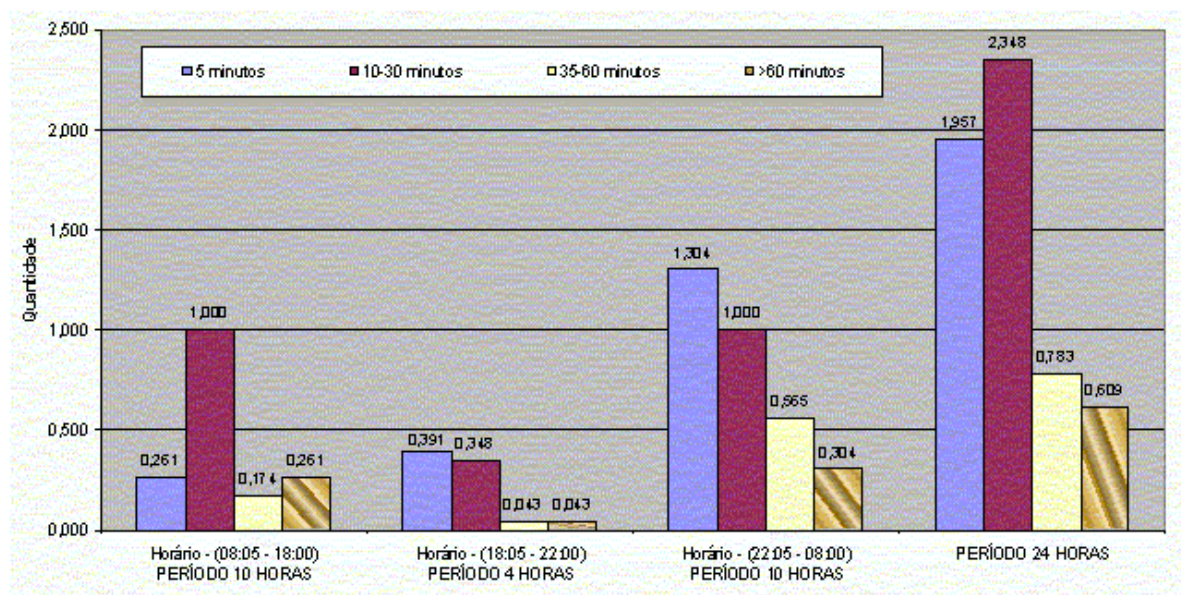


GRÁFICO 02 – Representação da média dos tempos de violação por transformador com violação de harmônicas de tensão por faixa de período analisado

Interpretando o gráfico 02, tomando como exemplo o período de 24 horas, nota-se que, durante o período de leitura (24 horas), ocorreram em média nos transformadores analisados, 1,95 violações harmônicas de Tensão com duração de 5 minutos; 2,348 violações com duração entre 10 e 30 minutos; 0,783 violações com duração entre 35 e 60 minutos e; 0,609 violações com duração superior a 60 minutos.

Ressalta-se que para o período diurno, das 08:05 às 18:00, embora apresente valores quantitativos inferiores ao período noturno, das 22:05 às 08:00, constatou-se a ocorrência de períodos de violações bastante extensos, nos quais em alguns casos, o período de violação ocorreu durante todo o intervalo de amostragem de 10 horas.

Para o período de ponta de carga, das 18:05 às 22:00, constatou-se, como já citado, a baixa ocorrência de violações harmônicas de tensão, assim como a predominância de violações de baixa duração, com destaque para violações de 5 a 30 minutos.

4.2. Estudo do Conteúdo Harmônico de Corrente

Para a análise do conteúdo harmônico de corrente, utilizou-se o fator linearizado de TDD – Distorção Total de Demanda, de acordo com o disposto na norma IEEE 519-1992 que representa a distorção de corrente harmônica em termos da porcentagem da máxima corrente de carga.

Neste caso, algumas medições tiveram de ser expurgadas, em face de apresentarem correntes de demanda muito baixas, ocasionando que muitas vezes, pequenas variações de correntes fossem tratadas pelo software analisador do medidor como distorções harmônicas severas, não apresentando valores, ditos aceitáveis. Resultando em 14 transformadores que tiveram suas medidas expurgadas, reduzindo o universo amostral para 111 transformadores.

Foram considerados, todos os valores, máximo, médio e mínimo, de Distorção Total de Demanda, para as três fases medidas de cada transformador analisado. O Gráfico III, mostra o comportamento da TDD de corrente, de cada fase medida dos 111 transformadores analisados.

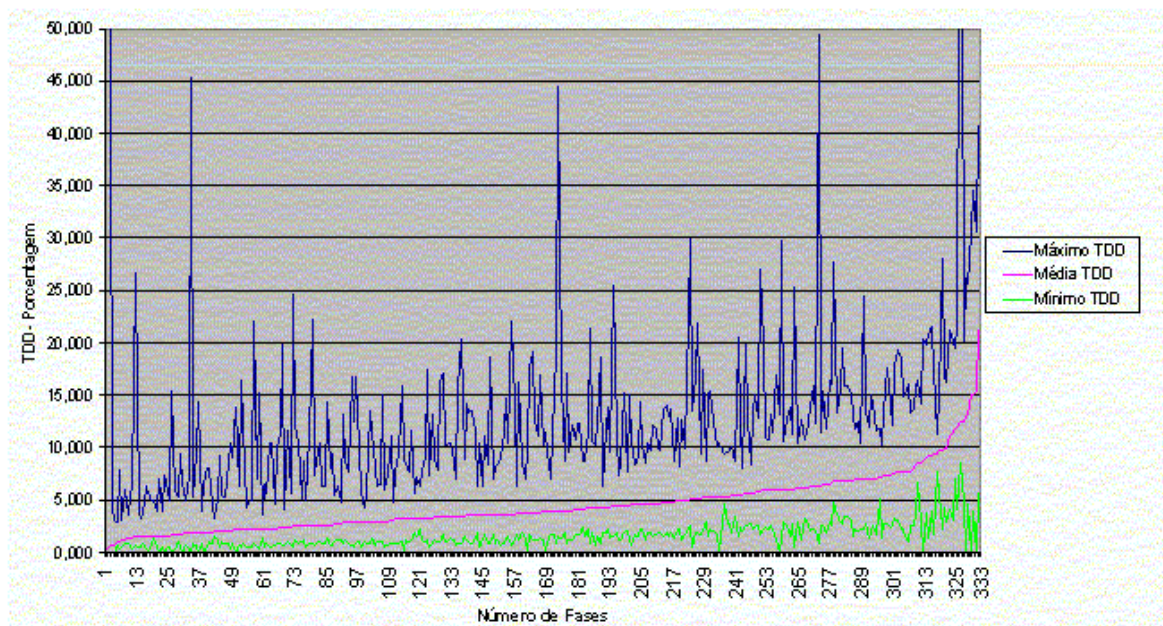


GRÁFICO III – Comportamento da TDD% de corrente em cada fase dos transformadores analisados

O valor referenciado neste trabalho limita o valor máximo de TDD em 5% do valor de máxima corrente de carga. Nota-se entretanto, que grande parte dos transformadores apresentaram valores superiores ao referenciado. Em termos de valores médios; 33,63% das fases analisadas, 112 fases apresentaram valores médios superiores ao permitido.

4.2.1. Índices de Violação Harmônica de Corrente

Para o cálculo dos índices de violação harmônica de tensão, foi considerada, a exemplo do estudo das harmônicas de tensão, a fase de maior índice de TDD de corrente de cada transformador analisado individualmente.

a) FEV_{I_harm} - Frequência Equivalente por Violação Harmônica de Corrente por transformador:

Da equação (I), temos:

$$FEV_{I_Harm} = \frac{109}{111} = 0,9820$$

onde: Cv_{I_Harm} – número de transformadores com violação harmônica de corrente $\rightarrow 109$
 Ca_H – número de transformadores da amostra $\rightarrow 111$

Assim; 98,20% dos transformadores amostrados apresentaram violações harmônicas de corrente .

b) DEV_{I_Harm} – Duração Equivalente de Violação Harmônica de Corrente por Transformador:

Para o cálculo da DEV_{I_Harm} – Duração Equivalente de Violação Harmônica de Corrente. Considerou-se o período de amostragem do dia típico e intervalo de integração de 5 minutos, obtendo-se assim 288 amostras para cada transformador.

Da equação (II), temos:

$$DEV_{I_Harm} = \frac{76650}{109}$$

Onde: C_v - número de transformadores com violação

Harmônica de corrente \rightarrow 109

d_{VUh} - tempo de permanência em violação harmônica de corrente, referente a cada transformador, em múltiplos de 5 minutos.

$$DEV_{I_Harm} = 703,21 \text{ min/ dia}$$

Ou ainda, expressando em horas

$$DEV_{I_Harm} = 11,72 \text{ _horas / dia}$$

Assim, utilizando-se da equação II, na Tabela 03 estão representados os tempos médios em horas e minutos de violação, para os demais períodos horários analisados.

Tabela 03 – Representação dos Tempos Médios de Violação dos Transformadores

Período	Tempo Médio de Violação		
	Em Horas	Em Minutos	% do Período
Média das Violações – 24 horas	11,72	703,3	48,83
Média das Violações – (08:05 – 18:00)	5,29	317,6	52,93
Média das Violações – (18:05 – 22:00)	3,05	183,3	76,36
Média das Violações – (22:05 – 08:00)	3,37	202,4	33,73

Nota-se na tabela acima a alta ocorrência de violações harmônica de corrente no período das 18:05 até às 22:00, onde cerca de 76% do tempo neste período (3 horas) apresentaram valores de TDD superiores ao referenciado de 5%.

4.2.2. Tempo de Violação Harmônica de Corrente

Utilizando-se a divisão do período de amostragem nos três períodos da tabela 03 e quantificando o tempo de violação de acordo com a sua duração, de 5 minutos, de 10 até 30 minutos, de 35 até 60 minutos e maior que 60 minutos, tem-se a representação dos tempos de violação mostrado no gráfico 04.

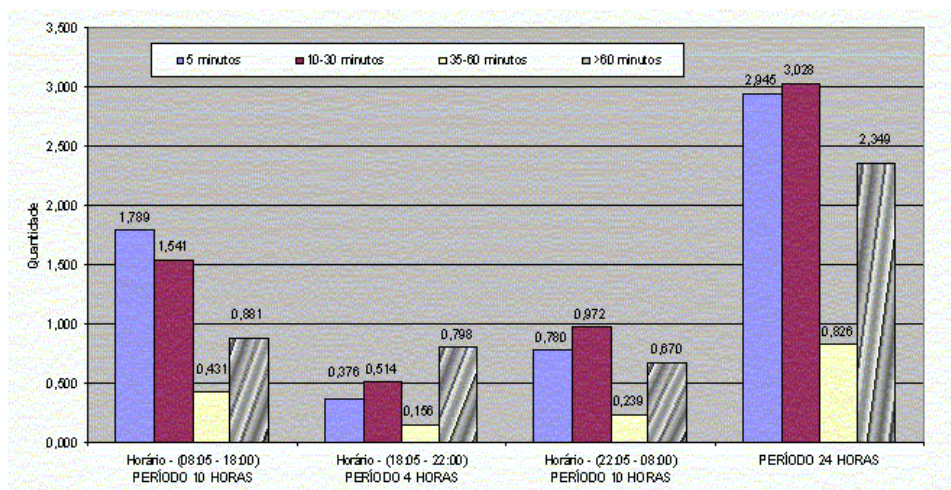


GRÁFICO 04 - Representação da média dos tempos de violação por transformador com violação de harmônicas de corrente por faixa de período analisado

Tomando-se o gráfico 04 como exemplo de interpretação, nota-se que, para o período de 10 Horas – (08:05 – 18:00), ocorreu em média, nos transformadores com violação harmônica de Corrente, 1,789

violações de duração de 5 minutos; 1,541 violações de duração de 10 a 30 minutos; 0,431 violações de duração de 35 a 60 minutos e; 0,881 violações com duração superior a 60 minutos.

Ressalta-se ainda que os valores para o período de 18:05 à 22:00, na qual se concentra o pico de carga, embora apresente valores absolutos inferiores aos outros períodos, possui período de amostragem também inferior aos outros períodos definidos.

Vale observar que é neste período onde se encontra o maior valor de DEV_{I_Harm} por duração do período; 3,05 horas de violação em um período de 4 horas (76,36% do Tempo em Violação).

5. COMENTÁRIO E CONCLUSÃO

O trabalho técnico avaliou as medições de harmônicas de tensão e corrente, durante um dia típico, medidos no secundário dos transformadores trifásicos de baixa tensão, no caso da Celesc em 380/220 volts, frente às condições de regime dos circuitos secundários.

Na avaliação do conteúdo harmônico de tensão pode-se considerar que, a qualidade da onda de tensão fornecida se encontra em conformidade resultado da baixa proporção de transformadores que apresentaram valores de distorção harmônica acima do valor referenciado, e, da baixa média dos espaços de tempo com violação.

Na avaliação do conteúdo harmônico de corrente, quase a totalidade dos transformadores, da amostra, apresentaram valores de distorção harmônica acima do valor referenciado, refletindo nos tempos médios de violação. A não conformidade das harmônicas de corrente, é resultado das cargas não lineares presentes ao longo do circuito secundário, o que denota o avanço crescente de equipamentos que geram harmônicas de corrente, podendo provocar interferência, quando em ressonância, em equipamentos eletrônicos e de telecomunicação instalados nas unidades consumidoras ligadas ao longo do circuito. A não conformidade das harmônicas de corrente, presentes no secundário dos transformadores, também é conseqüente e tem forte relação com o “desequilíbrio de carga entre fases de baixa tensão provocando a diferenciação de tensão entre as fases de baixa tensão, com conseqüente distorção do delta de tensões equivalentes gerando efeito de seqüência zero. Esta componente de seqüência zero pode influir diretamente na magnetização do transformador com geração de harmônicas.”

Quando analisado os tempos de violação, estratificado por períodos horário, verifica-se que, durante o tempo que se concentra o pico de carga, os conteúdos harmônicos de tensão e de corrente são fortemente influenciados pela maior corrente circulante no circuito, reduzindo a severidade das harmônicas ao se comparar com os demais períodos horários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 WAREN Lewis. Harmônicas de Corrente e Tensão - O que Você quer Saber,, EM abril de 1998.
- 2 ANDRADE, José C. B. e outros, Índices de Conformidade e Protocolos de Medição de Distorção Harmônicas, IV SBQEE, pag 333 até 336, agosto de 2001.
- 3 IEEE Std 519-1992 – Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems – Dispõe sobre o controle harmônico em Sistemas Elétricos de Potência.
- 4 Manual de Implantação do Modelo Matemático da Portaria DNAEE no. 163/93, realizado por um grupo de trabalho coordenado pelo DNAEE, em 1997.
- 5 MRBR – Consultoria e Engenharia em Eletricidade, 2003 – Realizado para a Celesc (2003/4)