

XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

**UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DE DIRETRIZES PARA A
QUANTIFICAÇÃO DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO EM INSTALAÇÕES
COMERCIAIS**

MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE OLIVEIRA
HILTON DUARTE FILHO
FREDERICO ABRANCHES BONINCONTRO
ANÉSIO DE LELES FERREIRA FILHO
UnB – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Palavras-chave: medição, harmônicas, ambientes comerciais

Foz do Iguaçu, 19 a 23 de novembro de 2000

1 – Introdução

O acentuado crescimento de cargas não-lineares em sistemas elétricos tem gerado uma preocupação cada vez maior com os problemas associados ao seu suprimento e com a subsequente deterioração da qualidade da energia que as mesmas provocam. Dentre estes problemas, as distorções harmônicas têm recebido particular atenção, resultando em diversos trabalhos de catedráticos da área.

Concessionárias, consumidores e fabricantes, conscientes dos problemas associados à redução da qualidade da energia, têm buscado alternativas comuns para a solução destas questões [1]. Naturalmente, qualquer que seja a medida corretiva a ser tomada, esta deve apoiar-se em indicativos adequados à quantificação e qualificação do grau de deterioração da qualidade da energia elétrica.

As normas mais conhecidas atualmente, a IEEE [2] e [5], a IEC [3], européia [4], bem como a Recomendação Brasileira [6], estabelecem limites para diversos parâmetros que caracterizam a qualidade da energia elétrica, ou ainda a sua deterioração. Contudo, no que diz respeito às distorções harmônicas de tensão e de corrente, as normas não determinam com clareza os procedimentos para a medição das grandezas necessárias.

Por outro lado, os especialistas concordam com a natureza aleatória dos fenômenos associados à presença de harmônicos nos sistemas elétricos. Assim, torna-se imperativa a utilização de ferramental estatístico para tratá-los. No entanto, este tratamento estatístico é quase sempre negligenciado em função das dificuldades na medição dos parâmetros necessários, da interpretação dos métodos recomendados pelas normas, e ainda, pela ausência de ferramental apropriado.

Este artigo apresenta os resultados de um estudo visando contribuir para o estabelecimento de diretrizes para nortear as campanhas de medição de distorções harmônicas de tensão. São ilustrados os resultados de medições efetuadas em edifícios com perfil comercial, com duração variando de 1 até 24 dias.

O tratamento estatístico destes dados permite estabelecer um período típico que melhor caracteriza as distorções harmônicas de uma dada instalação, e ainda avalia questões como a escolha de uma das fases como representativa às demais.

São postos à apreciação, com vistas à análises da frequência de aquisição, os valores médios calculados quando da execução de medições intercaladas de 1, 5, 10, 15, 30, e 60 minutos, bem como o erro cometido nestas operações, determinados a partir dos dados de um espaçamento preestabelecido. Em seguida, é efetuada a avaliação dos dados, segundo os limites propostos pela norma do IEEE, Européia, e a Recomendação Brasileira.

Com base nestas análises, o artigo conclui que, para cargas tipicamente comerciais, medições efetuadas das 14:00 às 18:00 horas em um dia típico com intervalos de até 15 minutos, são suficientes para quantificar as distorções harmônicas de tensão.

Embora os resultados obtidos não possam ser imediatamente generalizadas para outras cargas, a metodologia apresentada pode ser de grande utilidade para empresas e profissionais interessados na quantificação e na qualificação das distorções harmônicas de tensão e corrente.

2 – Fundamentação estatística

Desenvolveu-se, para a análise dos dados, rotinas computacionais que determinam grandezas como a média aritmética, o desvio padrão, o valor equivalente com probabilidade de 95% de não ser excedido (P95%), e o erro médio quadrático normalizado (EMQN). O valor médio (μ) e o desvio padrão (σ) são obtidos pelas equações 1 e 2, respectivamente. O cálculo do valor equivalente com probabilidade de 95% de não ser excedido (P95%) pode ser efetuado através da equação 3, que é a função de distribuição acumulada de uma variável aleatória "X". O erro médio quadrático é determinado pela equação 4. Ressalva-se que, quanto menor o EMQN mais próximos da média os dados encontram-se. Valores a partir da ordem de 10^{-2} são considerados bastante razoáveis para as comparações executadas neste estudo.

$$\mu = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (2)$$

$$F(x_i) = P(x \leq x_i) = \sum_{i=-\infty}^{x_i} P(x_i) \quad (3)$$

$$EMQN = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i^2} \quad (4)$$

Na expressão 3, P(xi) é a probabilidade acumulada, desde -∞, até “xi”, inclusive.

Embora a estatística propicie equações distintas para a obtenção de um valor médio equivalente para um conjunto (mediana, moda, média quadrática, etc.), utilizou-se neste trabalho dos índices apresentados acima, em função da aplicabilidade dos mesmos ao tipo de análise aqui desenvolvida.

3 - Resultados Experimentais

Para o propósito deste trabalho, utilizou-se os valores das DHT_V oriundos de medições efetuadas nos transformadores de entrada de 02 edifícios com perfil comercial:

- i. Shopping Center – Alimentado através de 03 transformadores de 1000 kVA, com tensão 380 volts no secundário e conexão trifásica ao sistema supridor;
- ii. Edifício de escritórios e pequenas lojas comerciais– Suprido por 03 transformadores trifásicos de 1000 kVA, com tensão do secundário de 380 volts.

As figuras 01 e 02 apresentam a curva de carga para dos dois locais em estudo.

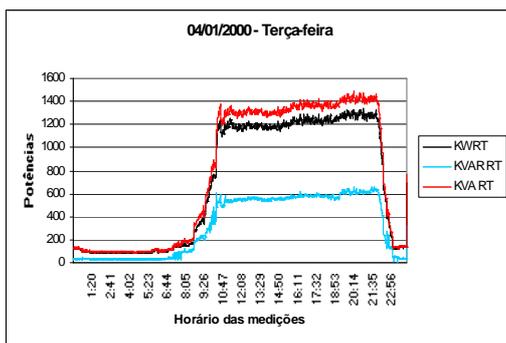


Figura 01 – Curva de carga do Shopping Center

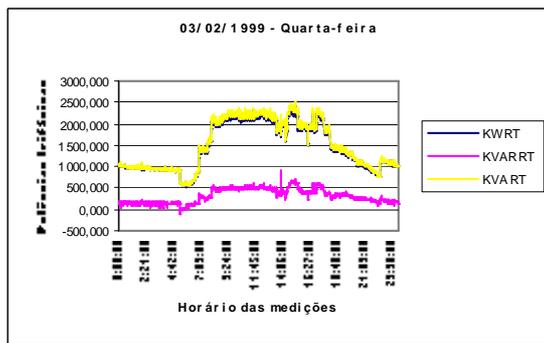


Figura 02 - Curva de carga do edifício de escritórios

Observa-se das figuras 01 e 02 que ambos os edifícios apresentam perfil comercial (aproximadamente 12 horas de funcionamento). O shopping center apresenta período de maior consumo das 10:00 às 22:00 horas, e o edifício de escritórios das 8:00 às 18:00 horas.

Embora as conclusões deste trabalho reportem-se aos resultados das análises efetuadas nos 02 edifícios em estudo, os gráficos ilustrados para a apresentação da metodologia utilizada, são dos dados do shopping center.

Objetivando a redução dos dados medidos a serem analisados, primeiramente se concluirá a respeito da similaridade ou não entre as fases.

3.1 - Similaridade entre as fases

Para se concluir a respeito da similaridade ou não entre fases, se analisará os dados medidos por 04 métodos diferentes: comparação gráfica, análise dos valores médios e desvios padrão, análise dos P95%, e análise dos erros médios quadráticos normalizados (EMQN).

3.1.1-Comparação gráfica entre as fases do shopping center.

As figuras 03 e 04 apresentam, respectivamente, os gráficos das DHT_v's das três fases de um sábado (12/02/2000) e de um domingo (13/02/2000) do shopping center. No caso de um shopping, o sábado representa um dia típico de funcionamento do prédio.

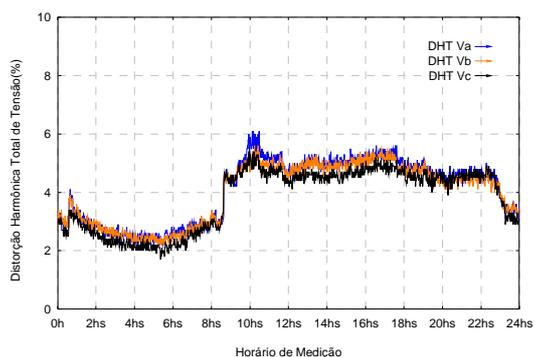


Figura 03 – DHT_v's medidos em um Sábado

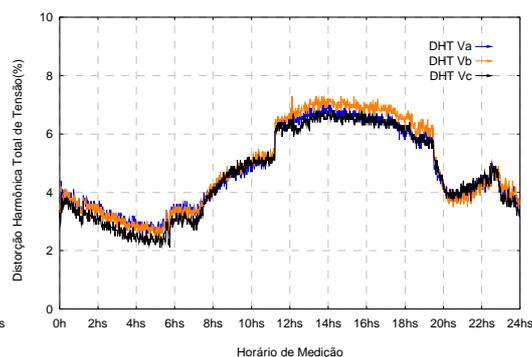


Figura 04 – DHT_v's medidos em um Domingo

Observa-se na figura 3 que as DHT_v no período de 0:00 às 8:00 horas estão próximas de um valor médio de 2,7%. Nota-se então que, o valor percentual das distorções eleva-se para um patamar médio de 5% e assim persiste até às 22:00 horas, quando há uma queda deste valor para 3%, permanecendo até às 24:00 horas.

Observa-se na figura 4 que as DHT_v no período de 0:00 às 8:00 horas estão próximas de um valor médio de 3,3%. Nota-se então que, o valor percentual das distorções eleva-se para um patamar de 7% e assim persiste até às 19:00 horas, quando há uma queda deste valor para 4%, permanecendo até às 24:00 horas.

Verifica-se que durante quase todo horário de medição, as DHT_v das três fases apresentaram valores próximos entre si, e na maioria dos pontos elas se superpõem. Esta observação se presta, também para o edifício de escritórios.

3.1.2 – Análise dos valores médios e desvios padrão entre as fases do shopping center.

As figuras 05 e 06 apresentam os gráficos das médias e desvio padrão de cada fase, para dias úteis e domingos, respectivamente.

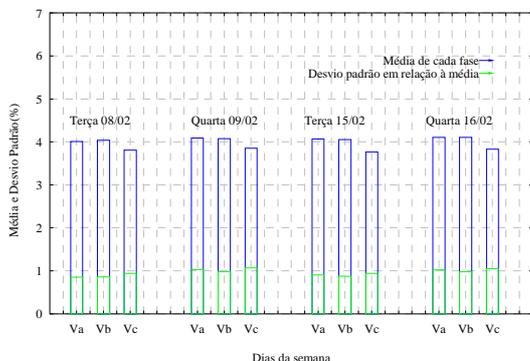


Figura 05 - Média e desvio Padrão em dias úteis

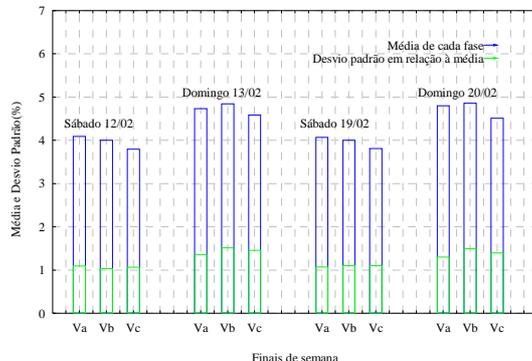


Figura 06 - Média e desvio Padrão em Sábados e Domingos

Analisando os gráficos 5 e 6, encontra-se elevados desvios padrão, da ordem de 25%, indicando um acentuado espalhamento dos dados, para cada 24 horas de medição.

No sentido de facilitar as comparações, a tabela 1 ilustra os valores exatos obtidos no cálculo da média e desvio padrão das DHT_V de cada fase, respectivamente.

Tabela 1 - Valores exatos obtidos no cálculo da média e desvio padrão das DHT_V de cada fase.

Dias	DHT_{Va} (%)	DHT_{Vb} (%)	DHT_{Vc} (%)
Terça-feira (15/02/2000)	4,07±0,91	4,05±0,88	3,77±0,94
Quarta-feira (16/02/2000)	4,11±1,02	4,11±0,97	3,83±1,05
Sábado (12/02/2000)	4,09±1,09	4,04±1,03	3,79±1,06
Domingo (13/02/2000)	4,73±1,36	4,847±1,52	4,59±1,46

Constata-se da tabela 1 que, entre as fases de cada dia, a faixa de espalhamento dos valores das médias das DHT_V é pequena (de 4,07 a 3,77). O mesmo verifica-se na análise dos dados do edifício de escritórios. As fases A e B mostraram possuir as maiores médias de DHT_V , na maioria dos dias para o shopping center. Nota-se que o domingo apresenta valores superiores de médias e desvios padrão das DHT_V , comparados aos demais dias úteis. Para o edifício de escritórios estas características não se repetem.

3.1.3 – Análise dos P95% entre as fases do shopping center.

As figuras 07 e 08 apresentam, respectivamente, os gráficos dos P95% das três fases de dias úteis e finais de semana.

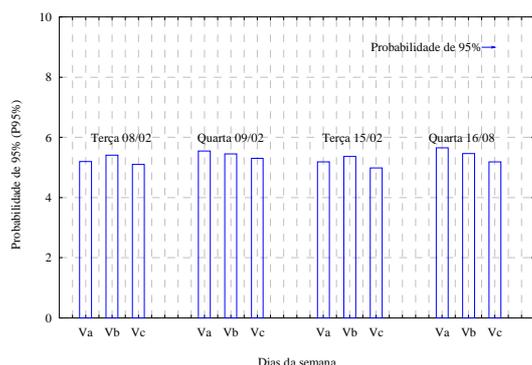


Figura 07 - Valores dos P95% em dias úteis

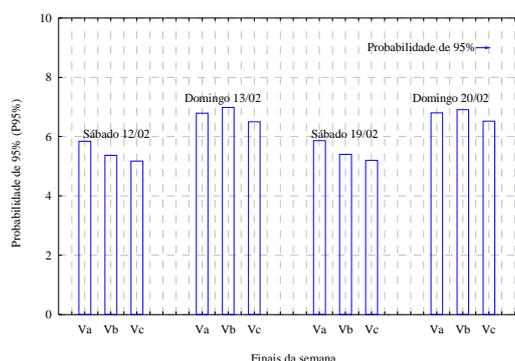


Figura 08 – Valores dos P95% em finais de semana

Observa-se a partir da figura 7 que, o P95% de cada fase no período de 24 horas, apresenta valor próximo a 5,4%. Da figura 8 constata-se que o P95% de cada fase no período de 24 horas dos sábados, apresenta valor próximo a 5,4%, e aos domingos, valor médio de aproximadamente 6,8%.

Embora os valores de P95% aos domingos sejam mais próximos entre si aos sábados, pode-se concluir das figuras 07 e 08, que há semelhança entre as fases.

3.1.4 – Análise do erro médio quadrático normalizado entre as fases do shopping center.

A figura 9 expõe o gráfico do erro médio quadrático normalizado (EMQN) das três fases de dias úteis e finais de semana.

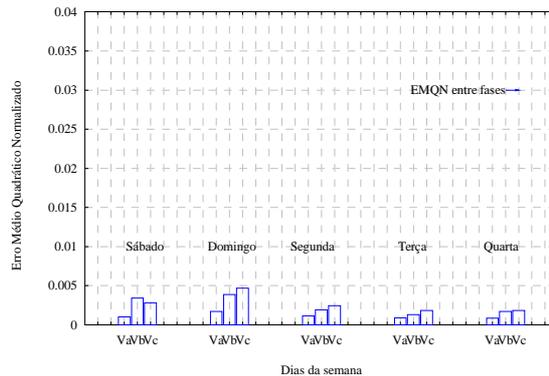


Figura 9 - EMQN entre as fases do shopping center

Da figura 9 pode-se observar que o erro médio quadrático normalizado (EMQN), apresenta valores de tamanho diminuto, na ordem de 10^{-3} . Constata-se que o EMQN de todos os dias em análise situa-se abaixo de 0,005, e apresenta valores muito próximos entre si. Resultados semelhantes foram encontrados para o edifício de escritórios.

Conclui-se que, devido à similaridade entre as fases tanto em dias úteis quanto em finais de semana, qualquer uma das três fases pode ser utilizada como representativa às demais. Neste caso empregar-se-á a fase **B**.

3.2 - Análise voltada a determinação do período mínimo necessário de medição

Pela análise das curvas de carga dos dois prédios, figuras 01 e 02, verifica-se que as 24 horas de um dia podem ser tomadas como uma realização do conjunto amostra. Assim sendo, inicialmente, verificar-se-á a similaridade ou não entre dias. Para isto, serão utilizados os mesmos 04 métodos do item 3.1.

3.2.1- Comparação gráfica entre os dias do shopping center.

As figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, as curvas de DHT_{Vb} de um sábado e 02 dias úteis, e de um domingo e 03 dias úteis, do Shopping Center.

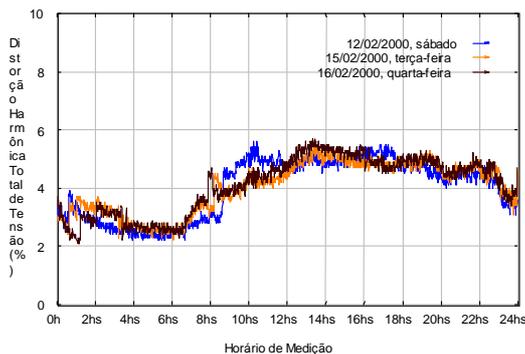


Figura 10 - DHT_{Vb} de um sábado e 02 dias úteis

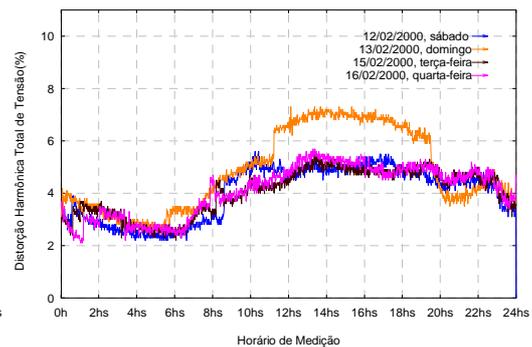


Figura 11 - DHT_{Vb} de um domingo e 03 dias úteis

Das figuras 10 e 11, nota-se que, em dias úteis, as distorções apresentam o mesmo perfil para todo o intervalo de medição. Observa-se uma íntima relação entre os valores instantâneos de cada curva. Constata-se que, o domingo apresenta um perfil diferente em relação aos demais dias de semana. Estas observações se prestam também para o edifício de escritórios.

Para o shopping center, as DHT_V alcançam patamares superiores aos dias úteis. Contudo, para o edifício de escritórios, como ilustra a figura 12, os valores de distorções de tensão nos dias úteis são mais elevados aos domingos.

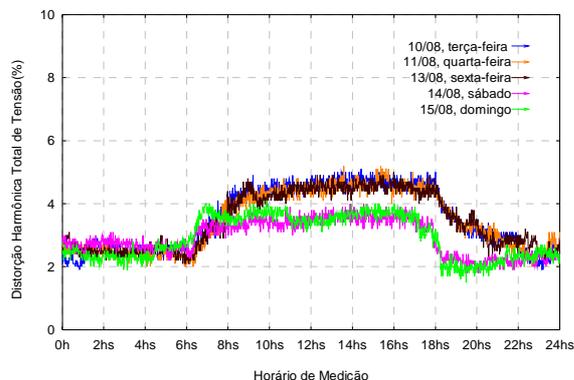


Figura 12 - Curvas de DHT_{vb} do edifício de escritórios

A análise da similaridade entre os dias mostra que, para o Shopping Center, pode-se separar o conjunto de dias em dois grupos, o primeiro de segunda a sábado e o segundo pelo domingo.

3.2.2 - Análise dos valores médios e desvios padrão entre os dias do shopping center.

A figura 13 apresenta as médias diárias e os seus respectivos desvios padrão das DHT_{vb} dos dias úteis e final de semana do Shopping center.

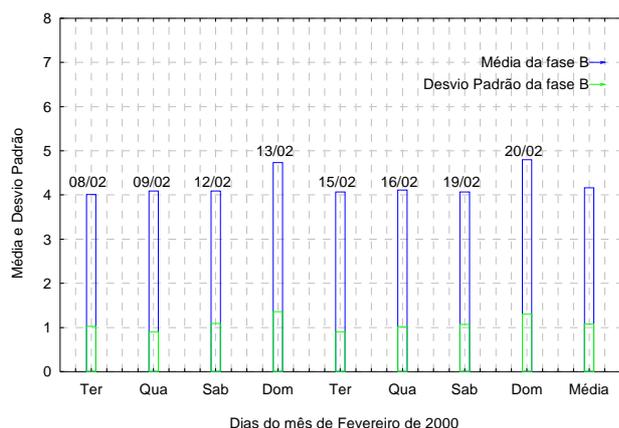


Figura 13 - Médias e desvios padrão de alguns dias do Shopping center .

Pela figura 13, pode-se notar que a maioria das médias diárias das DHT_{vb} encontram-se entre os valores 4% e 4,8%.

Observa-se uma diferença entre o valor representativo dos dias úteis e dos domingos. Assim, a análise das médias e desvios padrão, ratifica a divisão de valores entre dois grupos: dias úteis e domingos, para o Shopping Center.

3.2.3- Análise dos P95% entre os dias do shopping center.

A figura 14 apresenta os valores de P95% da fase B de dias úteis e finais de semana.

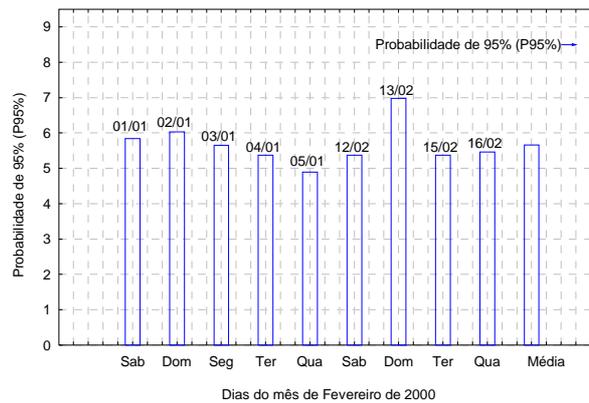


Figura 14 - Valores de P95% da fase B de dias de semana e finais de semana

Observa-se patamares semelhantes para o grupo formado por dias úteis. Os dias deste grupo apresentam valores próximos de 5,4%, e o domingo (13/02/2000) exhibe o valor de 6,98%.

3.2.4 - Análise do erro médio quadrático normalizado entre os dias do shopping center.

A figura 15 apresenta o gráfico do erro médio quadrático normalizado (EMQN) de dias úteis e de domingos.

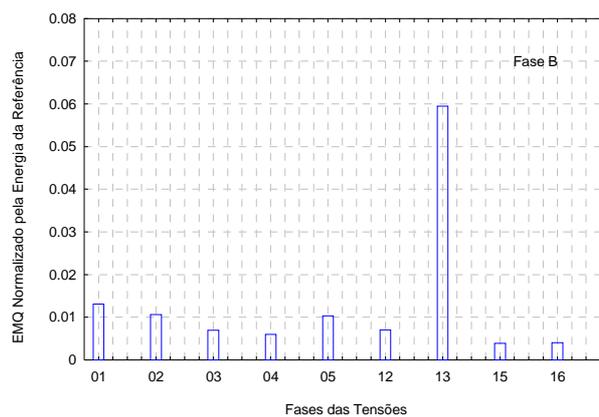


Figura 15 - Erro médio quadrático normalizado de dias úteis e de domingos.

A figura 15 evidencia a similaridade entre as DHT_V dos dias úteis, e ainda, a diferença quando da comparação com os domingos.

Logo, da análise da similaridade entre os dias, conclui-se que, pode-se gerar dois grupos, o primeiro de segunda a sábado, e o segundo pelo domingo.

3.2.5 – Análise da média e desvio padrão das 12 horas do Shopping Center.

Tendo sido comprovada a similaridade entre as 24 horas de um dia, busca-se um intervalo mínimo de medição no qual se possa obter um valor representativo para todo o dia. Por se tratar de edifícios com perfil comercial, um período de 12 horas caracteriza-se como o de maior intensidade de DHT_V durante o dia. Os valores expostos na tabela 02 e as curvas da figura 10 ratificam esta hipótese.

Tabela 2 - Médias e desvios padrão das DHT_{vb} , para às 24 horas e para às 12 horas do Shopping

DIAS	Vb		Vb	
	Média Vb (24hs)	Desvio Padrão	Média Vb (12hs)	Desvio Padrão
sab 01/01/2000	3,96	0,87	4,68	0,40
dom 02/01/2000	4,05	1,12	4,82	0,50
seg 03/01/2000	4,29	0,96	5,10	0,37
ter 04/01/2000	3,95	1,06	4,85	0,31
qua 05/01/2000	3,97	0,73	4,53	0,22
sab 12/02/2000	4,01	1,03	4,84	0,30
dom 13/02/2000	4,85	1,52	6,03	1,15
ter 15/02/2000	4,05	0,88	4,77	0,31
qua 16/02/2000	4,11	0,97	4,91	0,34

Da tabela 2, observa-se que as DHT_{vb} calculadas para o período de 12 horas apresentam maiores intensidades. Seus desvios padrão das DHT_{vb} apresentam menores valores em relação às 24 horas, indicando que naquele período houve menor variação em torno da média. No edifício de escritórios os resultados foram semelhantes.

3.2.6 - Análise das médias do intervalo de 1 em 1 hora do Shopping Center.

Ainda, visando-se a determinação do período de maior representatividade dos piores valores de DHT_v , dividiu-se 02 dias em intervalos iguais de 1 hora. Calculou-se as médias e os desvios padrão para cada hora. Com esses dados construiu-se os gráficos de barras das figuras 16 e 17, respectivamente, uma terça-feira, e um domingo, do Shopping Center.

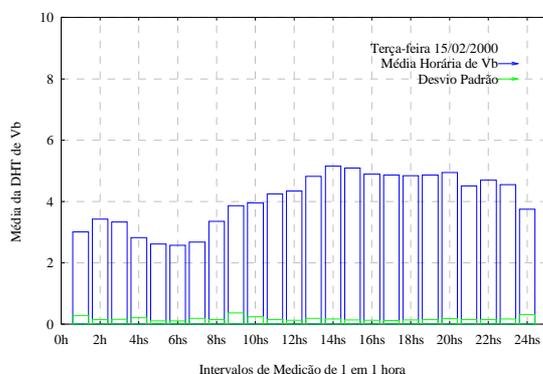


Figura 16 - Médias e os desvios padrão das DHT_{vb} (terça-feira)

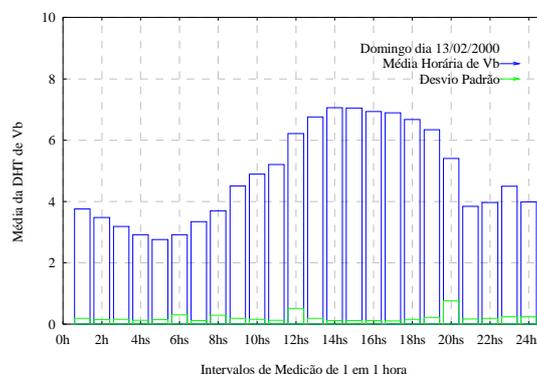


Figura 17 - Médias e os desvios padrão das DHT_{vb} (domingo)

Da figura 16, nota-se a existência de três patamares médios de DHT_{vb} : o primeiro entre 00:00 e 08:00 horas, o segundo entre 10:00 e 22:00 horas, e o terceiro entre 22:00 e 24:00 horas. O período de 10:00 às 22:00 horas é o intervalo que contém as maiores médias de DHT_{vb} .

Da figura 17, observa-se três níveis de valores médios de DHT_{vb} : o primeiro entre 00:00 e 10:00 horas, o segundo entre 12:00 e 19:00 horas, e o terceiro entre 21:00 e 24:00 horas. O período de 12:00 às 19:00 horas é o intervalo que contém as maiores médias de DHT_{vb} .

3.2.7 - Análise das médias do intervalo de 1 em 1 hora do edifício de escritórios

O gráfico da figura 18 apresenta as médias e os desvios padrão das DHT_{va} , dos intervalos de 1 em 1 hora, do período de 24 horas de um dia típico (quinta-feira – 19/08/98) do edifício de escritórios.

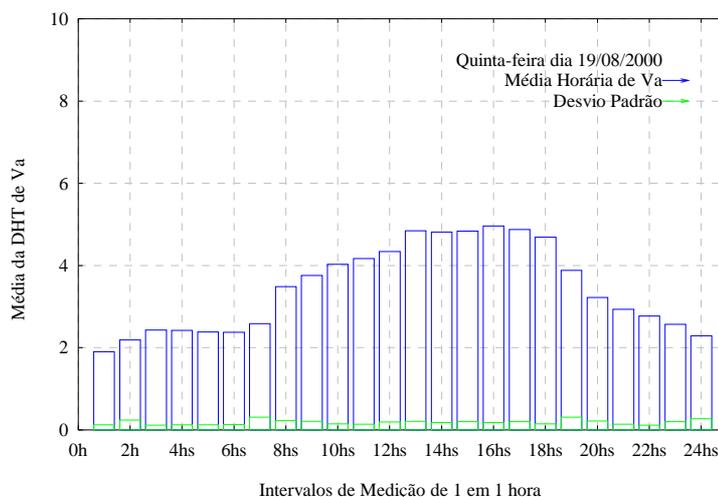


Figura 18 - Média e desvio padrão das DHT_{Va} para o intervalo de 1 em 1 hora do edifício de escritórios

Nota-se a existência de três patamares médios de DHT_{Va} : o primeiro entre 00:00 e 06:00 horas, o segundo entre 08:00 e 19:00 horas, e o terceiro entre 20:00 e 24:00 horas. O período de 8:00 às 19:00 horas é o intervalo que contém as maiores médias de DHT_{Va} .

Constata-se das análises dos itens 3.26 e 3.27 que, com a verificação de três patamares de DHT_V , o valor médio calculado a partir de todos os dados obtidos em 24 horas de medição, apresenta uma significativa diferença comparado as médias para cada intervalo de 1 em 1 hora. Adicionalmente, ressalta-se que um valor médio calculado em um período das 07:00 às 08:00 horas, pode acarretar erros se comparado a um outro calculado a partir do intervalo de 14:00 às 15:00 horas. Logo, sugere-se, para ambientes comerciais com características semelhantes ao em estudo, que o período de 14:00 às 18:00 horas seja utilizado para o cálculo do valor representativo aos maiores DHT_V registrados em medição.

3.3 - Análise da Frequência de Aquisição

Para se concluir quanto a análise da frequência de aquisição, 02 métodos serão utilizados: análise gráfica das curvas dos valores instantâneos das DHT_{Vb} , e análise dos valores médios e desvios padrão. Os 02 critérios serão aplicados aos conjuntos de dados formados a partir dos seguintes intervalos de aquisição: de 1 em 1 minuto, de 5 em 5 minutos, de 10 em 10 minutos, de 15 em 15 minutos, de 20 em 20 minutos, de 30 em 30 minutos, de 1 em 1 hora, e de 2 em 2 horas.

Para se ter uma visualização mais precisa das curvas, dividiu-se a plotagem em 2 grupos: grupo 1– inclui os intervalos de 1 em 1 minuto até o intervalo de 15 em 15 minutos, e o grupo 2– inclui os intervalos de 15 em 15 minutos até o intervalo de 2 em 2 horas.

Já constatada a similaridade entre os dias, escolheu-se para a análise da frequência de aquisição uma quarta-feira dia 16/02/2000.

3.3.1-Análise gráfica da frequência de aquisição do Shopping Center

Deseja-se nesta análise gráfica, verificar se as curvas dos intervalos adotados assemelham-se ou não a do intervalo de 1 em 1 minuto. Para tanto plotaram-se os gráficos das figuras 19 e 20, que ilustram as DHT_{Vb} da quarta-feira dia 16/02/2000 no Shopping Center.

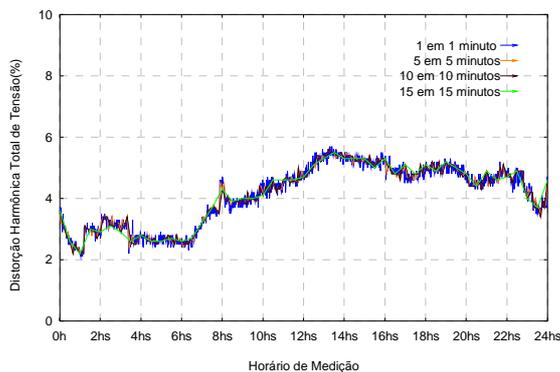


Figura 19 - Curvas das DHT_{Vb} dos intervalos do grupo 1

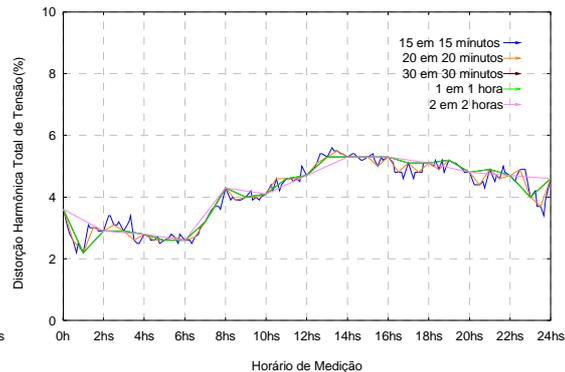


Figura 20 - Curvas das DHT_{Vb} dos intervalos do grupo 2

Da figura 19, constata-se que as curvas para as frequências de aquisição do grupo 1, superpõem-se em todo o intervalo de 24 horas.

Observando-se a figura 20, que apresenta as curvas do grupo 2, verifica-se que os perfis das curvas não se assemelham.

3.3.2- Análise das médias e desvios padrão do Shopping Center, para diferentes frequências de aquisição

A tabela 04 apresenta os valores das médias das DHT_{Vb} e seus respectivos erros e desvios padrão para os diversos intervalos de aquisição de dados.

Tabela 4 - Frequência de aquisição das DHT_{Vb} das 12 horas do Edifício de escritórios.

Frequência de aquisição (12 h)	Quarta 16/02 DHT _{Vb}		Erro Médio Quadrático
	Média da DHT _{Vb}	Desvio padrão	
1 em 1min.	4,91	0,34	0,005
5 em 5 min.	4,91	0,35	0,005
10 em 10 min.	4,91	0,36	0,005
15 em 15 min.	4,92	0,36	0,005
20 em 20 min.	4,93	0,38	0,005
30 em 30 min.	4,92	0,34	0,005
1 em 1 hora	4,95	0,36	0,005
2 em 2 horas	4,86	0,42	0,005
Média dos intervalos	4,91	0,36	0,005

Da tabela 4 nota-se que as médias e os desvios padrão apresentam valores próximos entre si. O erro médio quadrático apresentou valores constantes e iguais a 0,005.

Logo, da análise da frequência de aquisição, observa-se que, para a reprodução do perfil das DHT_{Vb}, medições acima de intervalos de 15 em 15 minutos, comprometem os resultados. Contudo, em relação às médias e aos respectivos desvios padrão, intervalos com espaçamento de até 1 em 1 hora, apresentam valores muito próximos entre si.

4. Qualificação das distorções harmônicas totais de tensão.

Objetivando uma avaliação qualitativa dos dados oriundos do shopping center e do edifício de escritórios, buscou-se compará-los com os limites estabelecidos pelas normas do IEEE-519 e Européia-EN50160, e à Recomendação Brasileira.

Inicialmente serão citadas, sucintamente, as informações relacionadas à metodologia empregada por cada norma, no quesito distorções harmônicas totais de tensão.

4.1.1-Avaliação do Edifício de Escritórios

4.1.1.1-Norma IEEE-519

Esta norma relata que em um período de uma semana, o limite máximo de distorção harmônica total de tensão de 5%, não deverá ser transgredido em um período superior a uma hora.

As figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, os gráficos da distribuição de probabilidade e do tempo acumulado da ocorrência de valores de DHT_V no Edifício, calculados a partir de dados de 7 dias consecutivos.

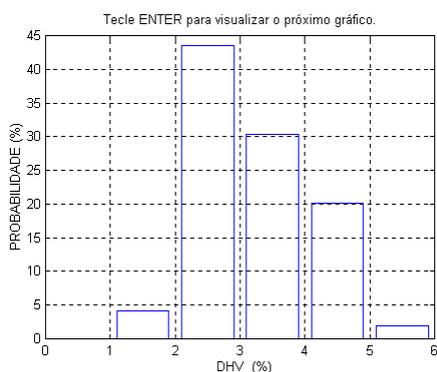


Figura 21 – Probabilidade da ocorrência de valores de DHT_V

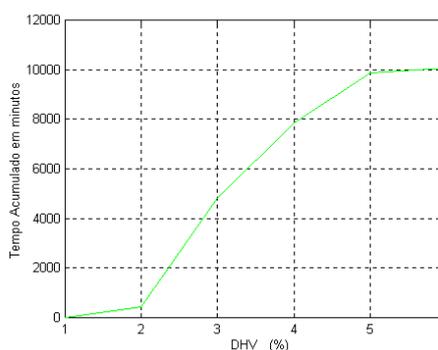


Figura 22 – Tempo acumulado em minutos da DHT_V

Da figura 21 pode-se observar que aproximadamente 43% das DHT_V encontram-se entre 2 e 3%, e 50% entre 3 e 5%. Há também valores de DHT_V superiores a 5%.

Na figura 22 observa-se a presença de um pequeno intervalo onde a distorção harmônica total de tensão permaneceu superior a 5%. Utilizando um rotina computacional dedicada a este fim, foram detectados 365 minutos de valores superiores a 5% de DHT_V em relação à fundamental. Como o limite é estabelecido para o máximo de 60 minutos, conclui-se que, o edifício de escritórios não obedece aos requisitos mínimos exigidos pela norma IEEE-519.

4.1.1.2-Recomendação Brasileira

Esta recomendação estabelece um limite máximo para a distorção harmônica total de tensão de 6%, e este não deve ser excedido em nenhum ponto do sistema elétrico.

Após analisar os dados (tabela 5), verificou-se que no período de uma semana de medição, não foram detectadas ocorrências de valores superiores a 6% de distorção harmônica total de tensão em relação à fundamental.

Logo, o edifício de escritórios enquadra-se ao grupo de consumidores com valores abaixo aos patamares máximos exigidos pela Recomendação Brasileira.

Tabela 5 – Resultados da análise dos valores de DHT_V

Valor	DHT_V (%)
Mínimo	1,5
Médio	3,3
Máximo	5,5

4.1.13- Norma Européia - EN50160

Nesta norma os dados devem ser colhidos durante uma semana, com um período de 10 minutos de amostragem, onde 95% dos valores medidos deverão estar dentro dos níveis de compatibilidade por ela fixada. Além disso, a distorção harmônica total de tensão não pode exceder 8%.

Após analisar os dados, verificou-se que no período de uma semana de medição, não foram detectadas ocorrências de valores superiores a 8% de distorção harmônica total de tensão em relação à fundamental. O valor de DHT_V com a probabilidade de 95% de ocorrer, na semana em estudo, foi 5,18%, inferior ao nível de compatibilidade de 8%.

A EN50160 determina limites para distorções harmônicas individuais de várias ordens. Porém, este trabalho ateve-se apenas ao cálculo da distorção harmônica total de tensão.

Logo, o edifício obedece aos requisitos exigidos pela Norma EN50160.

4.1.2 - Avaliação do Shopping Center

4.1.2.1-Norma IEEE-519

As figuras 23 e 24 apresentam, respectivamente, os gráficos de distribuição de probabilidade e do tempo acumulado da ocorrência de valores de DHT_V no Shopping Center.

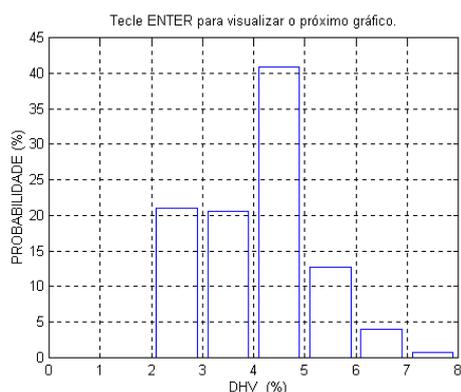


Figura 23 – Probabilidade da ocorrência das DHT_V

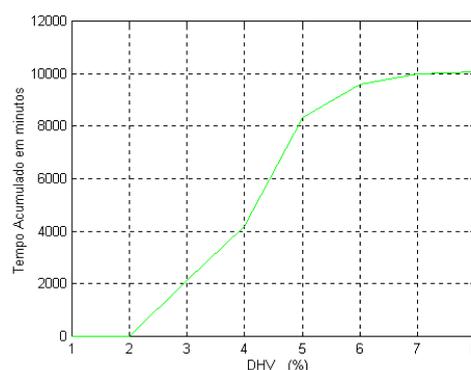


Figura 24 – Tempo acumulado em minutos das DHT_V .

Da figura 23 pode-se observar que aproximadamente 42% das DHT_V encontram-se entre 2 e 4%, e 41% entre 4 e 5%. Há valores de DHT_V entre 5% e 8%.

Na figura 24 observa-se que há um intervalo de aproximadamente 2000 minutos, onde as DHT_V medidas apresentam valores acima de 5%.

Logo, o Shopping Center não obedece aos requisitos mínimos exigidos pela norma IEEE-519.

4.1.2.2-Recomendação Brasileira

Após analisar os dados (tabela 6), verificou-se que no período de uma semana de medição foram detectadas 491 ocorrências de valores superiores a 6% de distorção harmônica total de tensão em relação à fundamental.

Conclui-se que, o Shopping Center transgrediu os patamares máximos exigidos pela Recomendação Brasileira.

Tabela 6 – Resultados da análise dos valores de DHT_V

Valor	DHT_V (%)
Mínimo	1,9
Médio	4,18
Máximo	7,3

4.1.2.3- Norma Européia - EN50160

Após analisar os dados verificou-se que no período de uma semana de medição não foram detectadas ocorrências de valores superiores a 8% de distorção harmônica total de tensão em relação à fundamental.

O valor de DHT_V com a probabilidade de 95% de ocorrer, na semana em estudo, foi 6,98%. Assim sendo, o edifício de escritórios encontra-se dentro dos limites exigidos pela Norma EN50160.

5 - Conclusões

Caso deseje-se a obtenção do perfil das DHT_V do prédio em estudo, 02 dias completos de medição são suficientes. Um dia útil e um domingo. Porém, se o objetivo concentra-se na obtenção de valores representativos aos apresentados nos períodos de máximos patamares das DHT_V , sugere-se a análise no intervalo de medição das 14:00 às 18:00 horas, para os 02 dias supracitados.

Das análises efetuadas, verificou-se similaridade entre as fases na totalidade dos dias. Logo, qualquer uma das três fases pode ser utilizada como representativa às demais.

Da análise da frequência de aquisição, observa-se que, para a reprodução do perfil das DHT_V , medições acima de intervalos de 15 em 15 minutos, comprometem os resultados. Contudo, em relação às médias e aos respectivos desvios padrão, intervalos com espaçamento de até 1 em 1 hora, apresentam valores próximos entre si.

Quanto à qualificação dos dados medidos para os 02 edifícios, utilizou-se os limites preestabelecidos pelas normas IEEE-519, Européia EM50160, e a Recomendação Brasileira. Quanto ao edifício de escritórios, verificou-se que este obedece aos requisitos exigidos pela Recomendação Brasileira e pela Norma Européia – EM 50160. Porém, o mesmo não se enquadra aos limites da Norma IEEE-519. Quanto ao shopping center, constatou-se que os limites foram transgredidos para a Recomendação Brasileira e a norma IEEE-519.

6 – Bibliografia

- [1] **Bueno, A. F. M.; Ribeiro, T. N.** Problemas na Qualidade da Energia Suprida - Um Estudo de Caso, Diagnóstico e Proposta de Solução, I Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica, Uberlândia, pp. 23-27, Junho, 1996.
- [2] **GCOI/SCCEL/GTEE.** Critérios e Metodologias para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais. XII Seminário Nacional de produção e transmissão de energia elétrica, Recife, 1993.
- [3] **Lima, A. G. G.; Ross, R. P. D.; Guarini, A. P.; Lourenço, P.; Mello, A. J. C.** Fornecimento à Indústria Metalúrgica que Utiliza Fornos de Indução. Seminário Brasileiro da Qualidade de Energia Elétrica, Uberlândia, Brasil, 1996.
- [4] **IEEE - Standarts 519** - “Recommended Practices and Requirements for harmonic control in Electrical Power System”, June -1993.
- [5] **Reid, W. E.** et all. Power Quality Issues Standarts and Guidelines. IEEE - IAS, Annual Pulp & paper Conference, June -1994.
- [6] **Bergeron, R.** et all. Análise da Norma IEC 1000-4-7 para Medição do Nível de Harmônicos. Eletricidade Moderna, No 266, pág. 125-133, Maio, 1996.