



## Avaliação e Tendência dos Níveis de Distorção Harmônica de Tensão no Sistema Elétrico de Distribuição

<b>ERNESTO ALBERTO MERTENS JR</b> Elektro Eletricidade e Serviços S. A. <a href="mailto:Ernesto.mertens@elektro.com.br">Ernesto.mertens@elektro.com.br</a>	<b>BENEDITO DONIZETI BONATTO</b> Elektro Eletricidade e Serviços S. A. <a href="mailto:Benedito.bonatto@elektro.com.br">Benedito.bonatto@elektro.com.br</a>	<b>LUÍS FERNANDO SOUZA DIAS</b> Elektro Eletricidade e Serviços S. A. <a href="mailto:Luis.dias@elektro.com.br">Luis.dias@elektro.com.br</a>
---	--	---

### RESUMO

**Objetivo:** Divulgar informações referentes aos níveis de Distorção Harmônica Total de Tensão (DTHT), verificados no sistema elétrico de MÉDIA TENSÃO (13,8 kV), com base em registros obtidos em 143 barras de 13,8 kV do sistema elétrico de distribuição.

Este trabalho visa proporcionar uma visão do comportamento atual do sistema elétrico, frente a esses níveis de distorção, bem como verificar o a evolução desses níveis ao longo de 32 meses, baseado no histórico desse acompanhamento.

**Descrição:** Após o racionamento de energia ocorrido no país no período de junho de 2001 a fevereiro de 2002, ocorreu uma tendência de elevação dos níveis de distorção harmônica em função do incentivo ao uso de “cargas econômicas” (Ex: Lâmpadas PL, inversores de frequência, etc), existe uma forte expectativa de que tais cargas podem aumentar significativamente o nível de correntes harmônicas devido às técnicas de chaveamento utilizadas nestes dispositivos. Portanto, pretende-se com essa avaliação verificar a situação atual, e a real tendência dos níveis de distorção harmônica no sistema de distribuição primário (13,8 kV) da empresa. O universo abrangido por este trabalho é de 143 pontos de monitoramento, com medições simultâneas, ou seja, eventuais interferências entre barras estarão consideradas nos registros. Todos os monitoramentos foram realizados nas barras de 13,8 kV das subestações. Trata-se de um universo representativo para avaliar-se a performance do sistema elétrico de Média Tensão, referente a esse indicador.

**Resultados:** Com os resultados obtidos da performance atual, foi possível ter-se uma visão do comportamento do sistema elétrico, frente aos níveis de distorção harmônica de tensão, permitindo identificar eventuais áreas problemáticas. Quanto à evolução dos níveis de distorção, se considerarmos que a carga evolua nos próximos anos com as mesmas características de evolução verificada nos 32 meses de observação, será possível estabelecer uma projeção para futuros níveis de distorção de tensão.

Através do conhecimento e da performance do sistema elétrico pode-se orientar os clientes, bem como agir no sistema elétrico visando um melhor desempenho do mesmo.

### PALAVRAS-CHAVE

Qualidade da energia elétrica, Harmônicos, Monitoramento.

## 1. INTRODUÇÃO

No passado a ELEKTRO decidiu-se pela aquisição de instrumentos de medição para faturamento, integrando funções de qualidade de Energia, permitindo assim o registro de diversas grandezas, possibilitando a criação de uma rede de monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica. A operação continua destes instrumentos está permitindo o armazenamento de uma grande quantidade de informações do sistema elétrico. A Elektro possui atualmente uma grande quantidade de pontos de monitoramento em operação, enviando e registrando os dados de forma contínua, alimentando um banco de dados estruturado de forma a permitir a extração de informações úteis e consistentes do sistema elétrico. Tais informações proporcionam um eficiente suporte na análise, identificação, e gerenciamento do sistema elétrico.

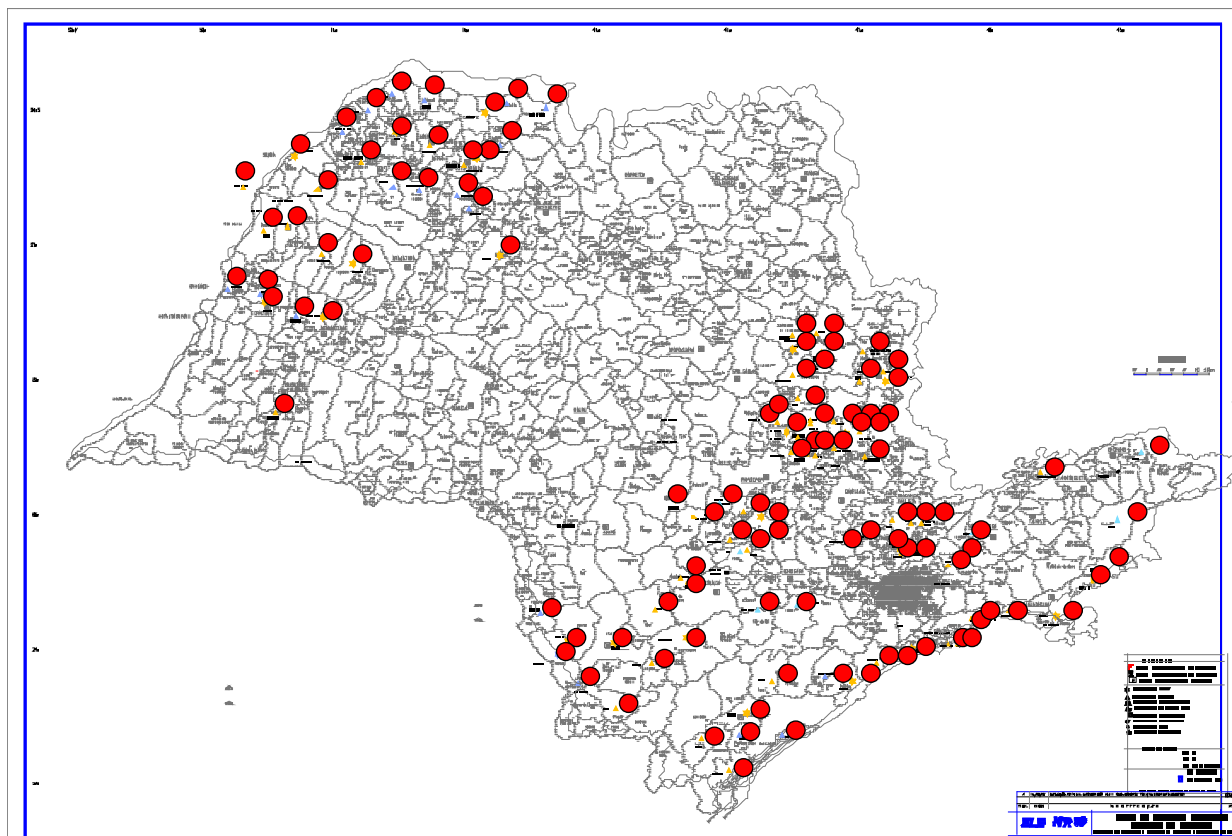
Para avaliação dos níveis de DTHT, utilizou-se como referência o indicador de distorção harmônica nas três fases, selecionando-se a mais crítica. Todas as avaliações consideraram duas análises, baseado nos valores médios e nos valores 95%, ou seja, o valor que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de uma semana, em base semanal e base diária.

## 2. AQUISIÇÃO DOS DADOS

Todos os dados são baseados nos registros efetuados pelos medidores Power Measurement, modelos ION 8500 e ION 8400, os registros são adquiridos ciclo a ciclo, com amostras a cada 2 segundos, e integralizados em intervalos de 10 minutos. A taxa de amostragem dos medidores é de 128 amostras por ciclo.

Os transdutores utilizados para registros de tensão são transformadores de potencial indutivos de 15 kV, tensão secundária de 115 V, com ligação fase-terra, e classe de exatidão de 0,3 (Medição).

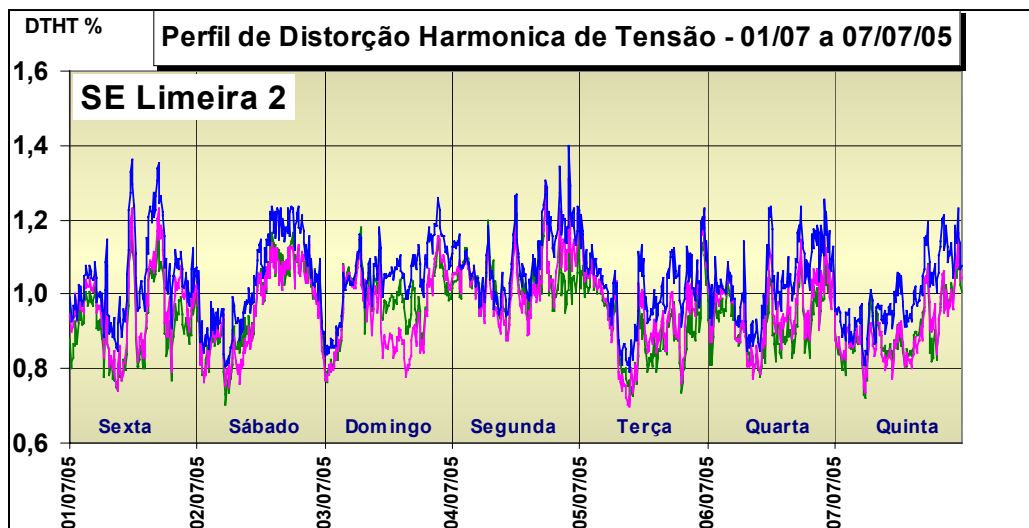
A fim de permitir uma visão geográfica dos pontos de monitoramento, apresenta-se a seguir um mapa ilustrativo do estado de São Paulo, demonstrando os pontos monitorados.



### 3. PREMISSAS DE APURAÇÃO DO INDICADOR

O indicador adotado para avaliar o desempenho quanto a harmônicos, em regime permanente, é o DTHT95% - “Distorção de Tensão Harmônica Total”. A sistemática de apuração do indicador é a estabelecida no documento “Procedimentos de Rede”, elaborado pelo ONS.

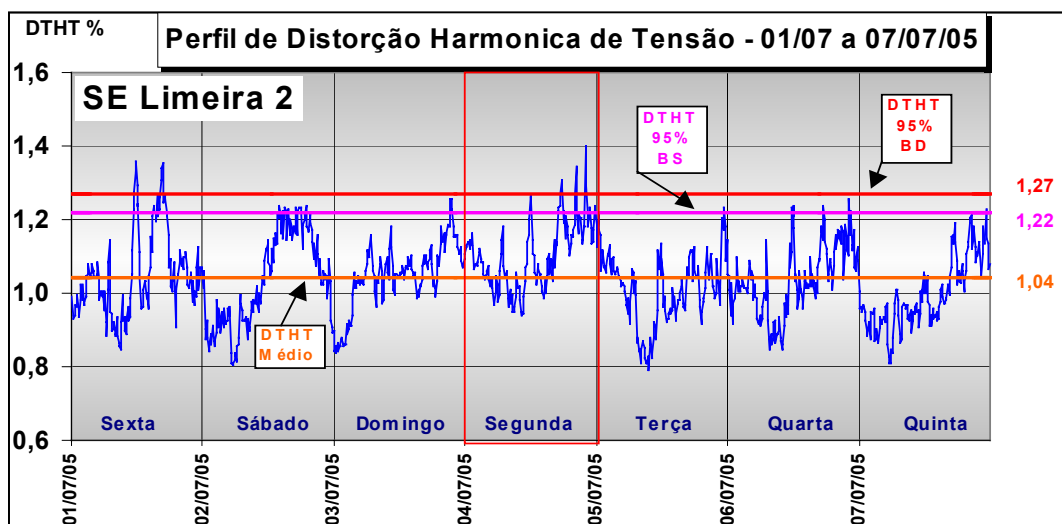
A seguir demonstra-se um exemplo do processo de geração do indicador, para o caso de uma Subestação típica. O gráfico mostra o perfil do DTHT das três fases, obtido através dos valores médios resultantes da integralização feita pelo medidor em intervalos de 10 minutos, durante uma semana.



Em seguida determina-se o valor que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de 1 dia, ao longo de 7 dias consecutivos; e o valor do indicador DTHT95%, corresponde ao maior entre os sete valores obtidos, em base diária (BD), demonstrado no gráfico a seguir através da linha vermelha. Este é o indicador estabelecido pelo ONS, para avaliação do desempenho do sistema elétrico. No caso exemplo a fase azul foi a de maior valor.

A linha roxa indica o valor do DTHT 95%, em base semanal (BS), ou seja, verifica-se o valor que foi superado em 5% dos registros obtidos no período de uma semana. Esse valor será utilizado para avaliação da evolução dos níveis de distorção harmônica ao longo dos últimos 32 meses, e visa obter-se um indicador mais estável, com melhor representatividade para esse objetivo de longo prazo.

A linha em laranja demonstra o valor médio da DTHT, e serve também como referencia na avaliação da evolução desse indicador.



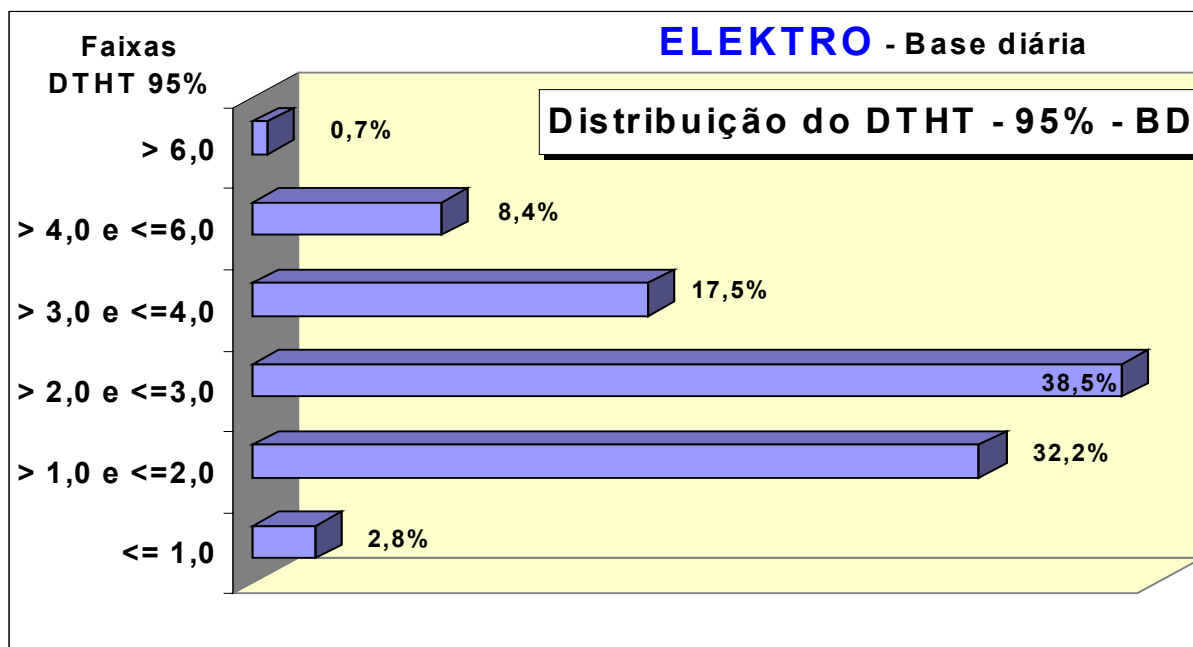
Percebe-se claramente que o indicador adotado pelo ONS é bastante rígido, e será utilizado para o gerenciamento desse indicador na rede básica, frente aos valores limites de referência adotados.

#### 4. Situação Atual - RESULTADOS OBTIDOS

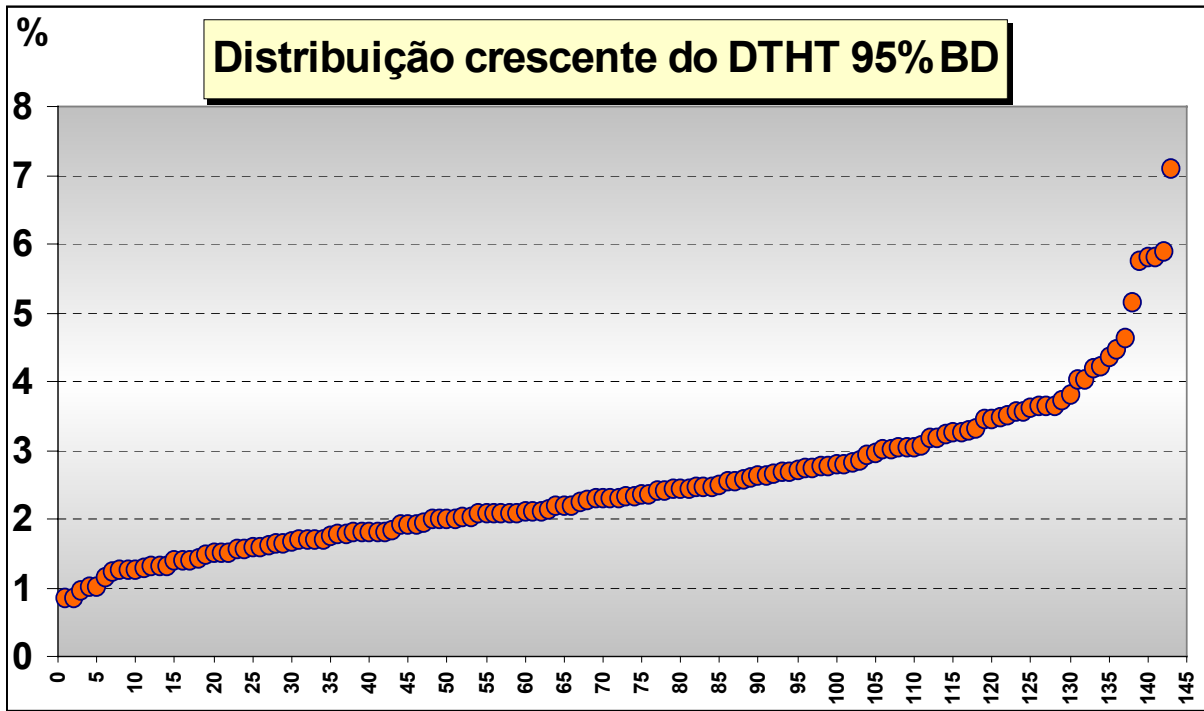
##### 4.1. RESULTADOS GLOBAIS – ELEKTRO

Verificação dos atuais níveis de Distorsão harmônica de tensão, baseados nos registros da primeira semana de julho de 2005 (1/07 a 07/07/2005).

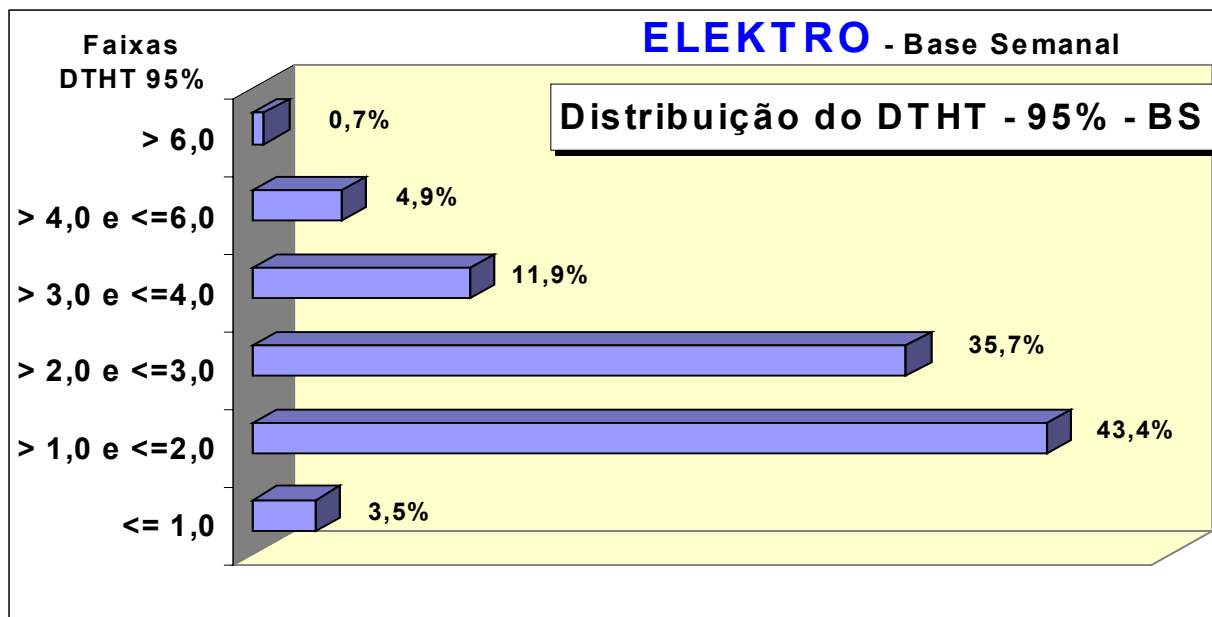
Demonstra-se a seguir, a distribuição por faixas dos níveis de distorção verificados nos pontos monitorados, primeiramente quanto ao valor de DTHT 95%, em base diária, conforme estabelecido no documento “Procedimento de Redes”:



Abaixo a distribuição crescente de cada um dos valores de Distorsão Harmônica Total de Tensão:

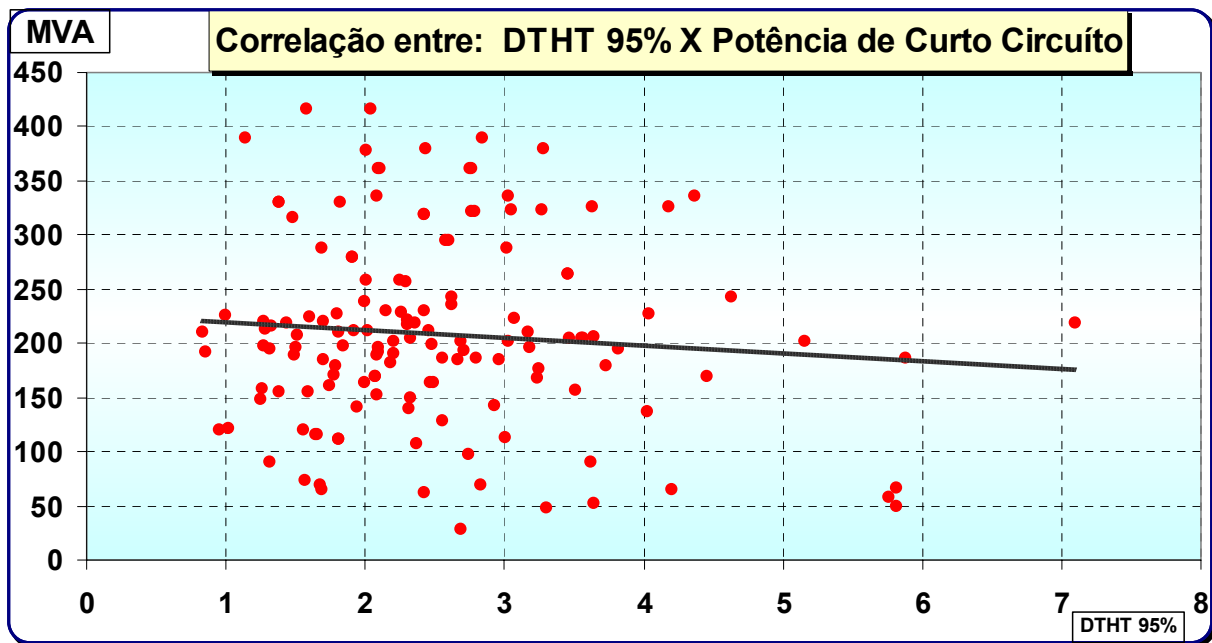


A seguir apresenta-se a distribuição baseada nos valores de DTHT 95% em base semanal:



## 5. NÍVEL DE DISTORÇÃO X NÍVEL DE POTÊNCIA DE CURTO-CIRCUITO

Tal avaliação visa verificar se os níveis verificados de distorção possuem a correlação esperada de que quanto maior a potência de curto circuito, menor a possibilidade de elevados níveis de distorção. Através da linha de tendência verifica-se que apesar de pequena, existe a correlação, mas a influência das cargas, ou outros fatores, possui predominância no resultado.

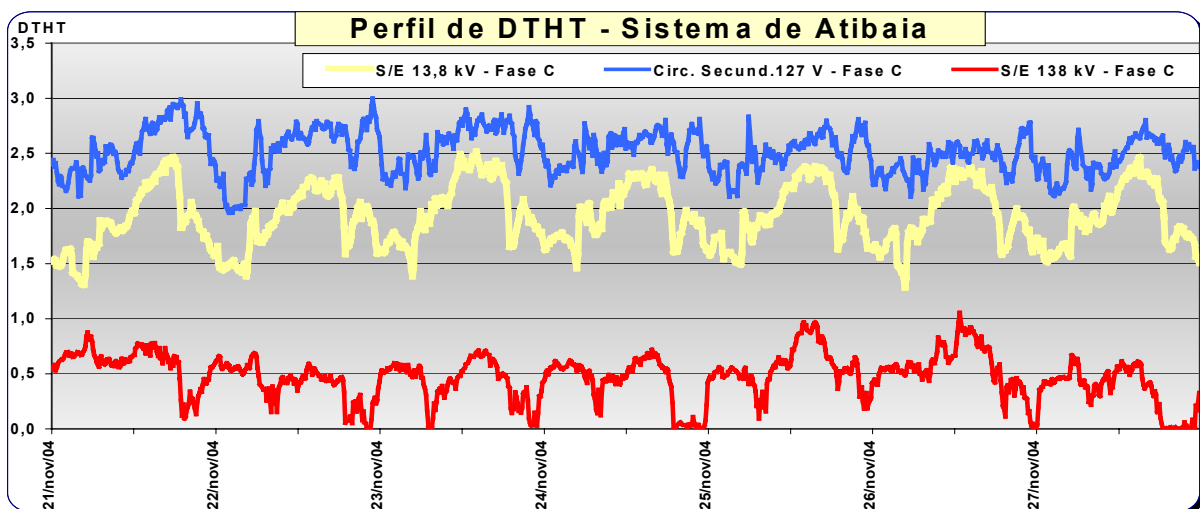


## 6. PROPAGAÇÃO DA DISTORÇÃO HARMÔNICA NO SISTEMA ELÉTRICO

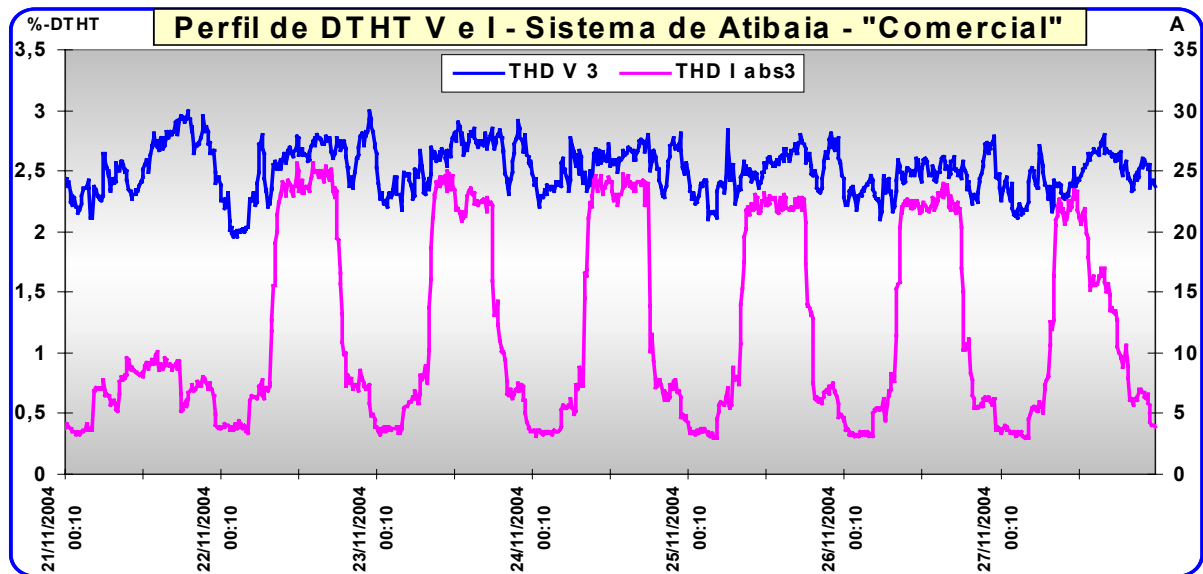
Visando avaliar os níveis de distorção harmônica nos diversos níveis de tensão, efetuou-se uma verificação simultânea do perfil de distorção harmônica de tensão no sistema de alta tensão (138 kV), sistema de distribuição primário (13,8 kV), e no sistema de distribuição secundário (220/127 V). Para tal avaliação selecionaram-se dois sistemas eletricamente contínuos, sendo um em Atibaia, com característica de carga Comercial na baixa tensão e outro em Rio Claro, com característica Residencial na baixa tensão, ambos com medição na rede secundária de baixa tensão, na barra de 13,8kV (que supre este setor de trafo), e na barra de 138kV que supre a SE selecionada.

### 6.1.EXEMPLO EM SETOR SECUNDÁRIO COM PREDOMINÂNCIA COMERCIAL

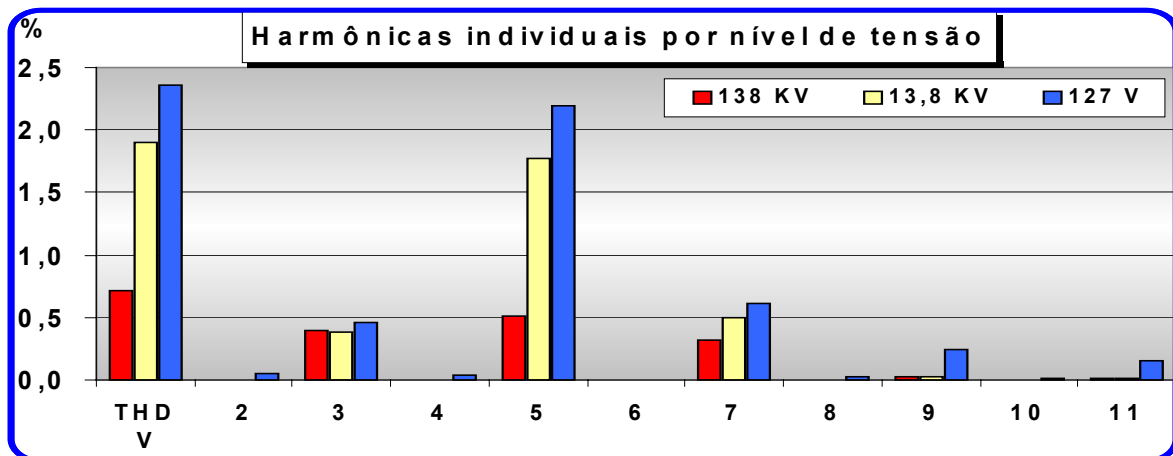
O primeiro gráfico apresenta o perfil de Distorção nos três níveis de tensão citados:



A seguir apresenta-se para a rede secundária (BT 127/220 V) o perfil de distorção harmônica de tensão (%), simultaneamente com o perfil de distorção de corrente (A). O perfil de distorção de corrente é expresso em Amperes, visando representar o nível de injeção de corrente distorcida.

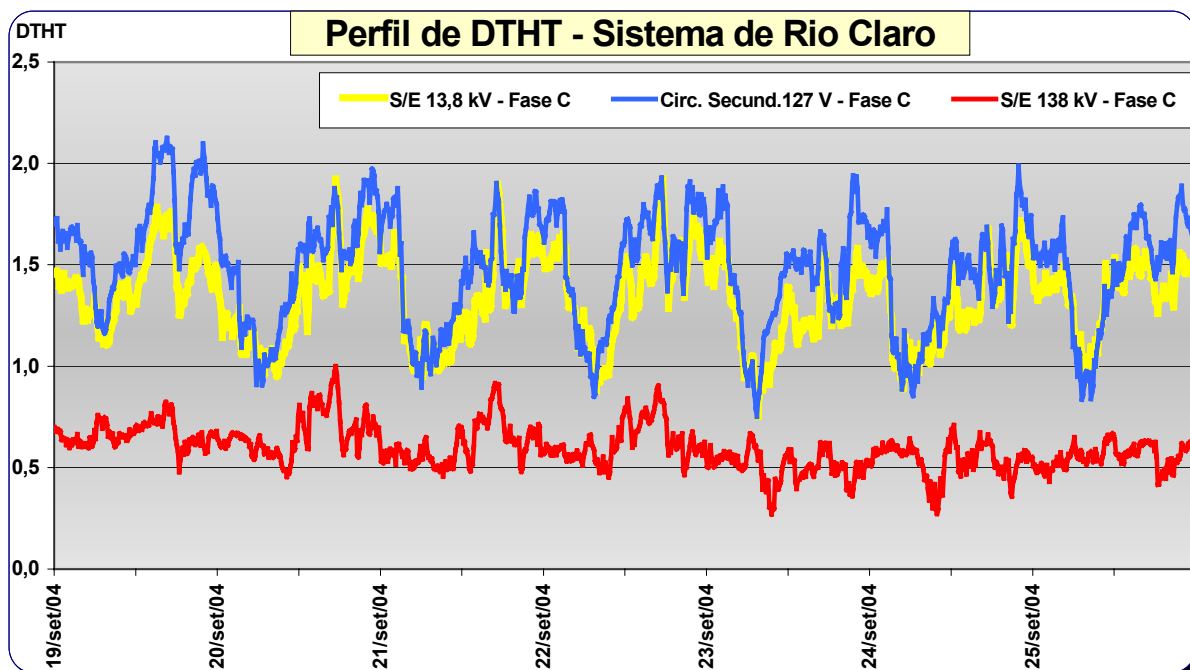


A fim de permitir uma verificação de quais ordens harmônicas são predominantes, é apresentado a seguir o espectro harmônico na baixa, média e alta tensão, em um dado momento (14:00h), escolhido aleatoriamente.

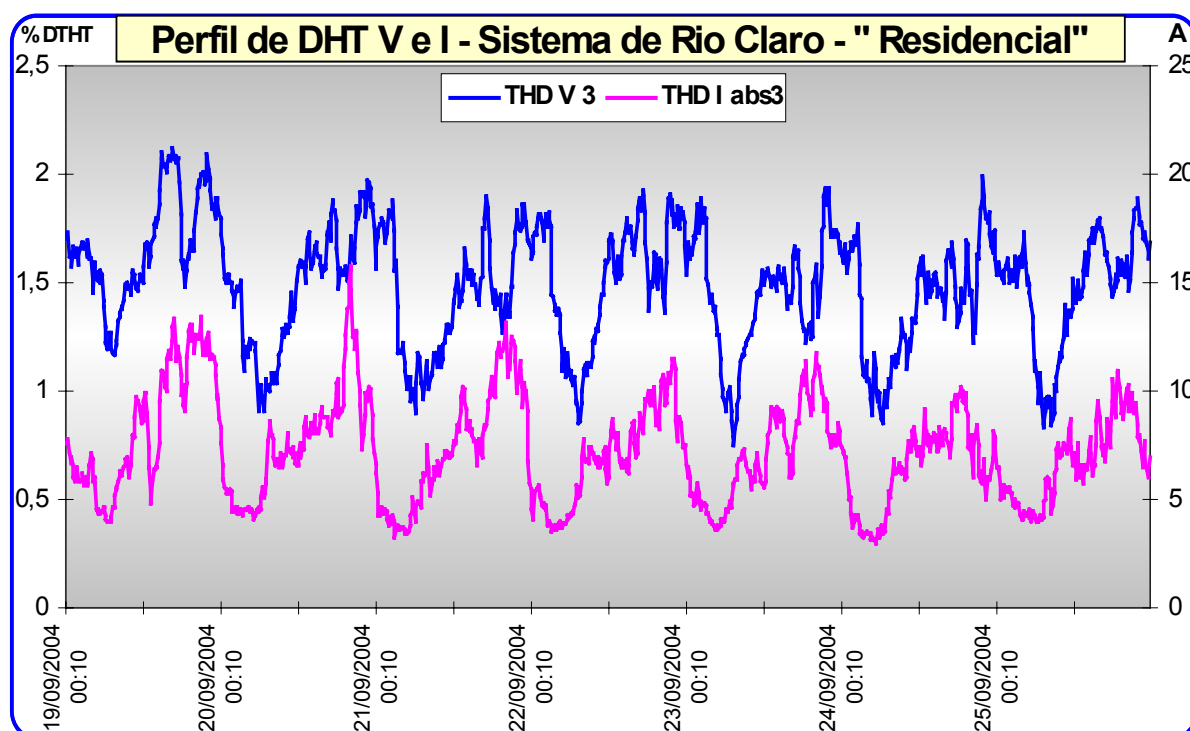


## 6.2. EXEMPLO EM SETOR SECUNDÁRIO COM PREDOMINÂNCIA RESIDENCIAL

O primeiro gráfico apresenta o perfil de Distorção de Tensão nos três níveis de tensão citados:



A seguir apresenta-se para a rede secundária (BT 127/220 V) o perfil de distorção harmônica de tensão (%), simultaneamente com o perfil de distorção de corrente (A). O perfil de distorção de corrente é expresso em Amperes, visando representar o nível de injeção de corrente distorcida.



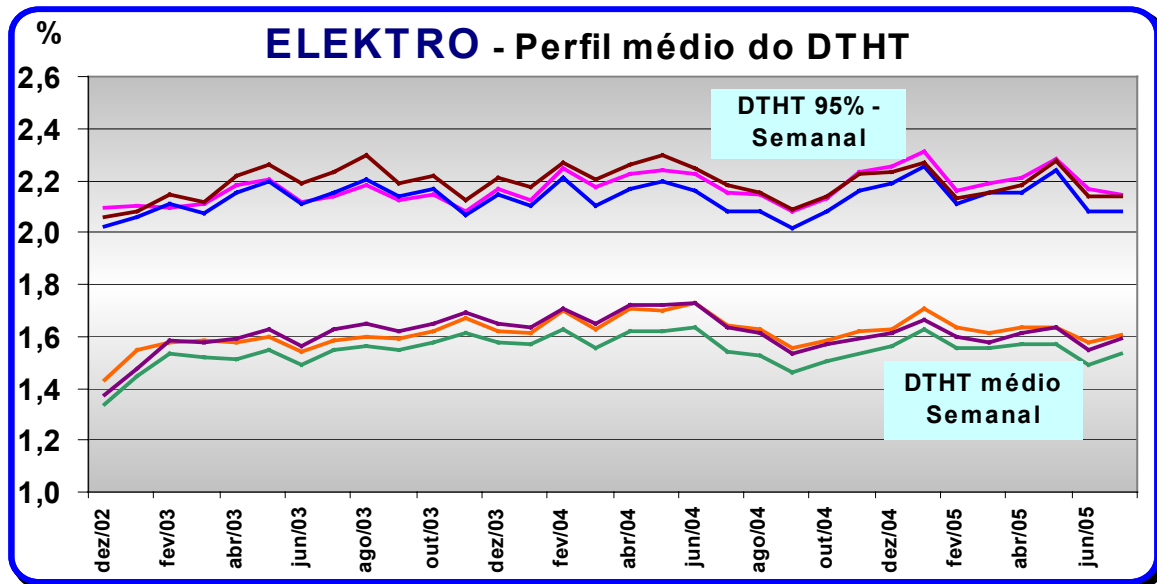
Verifica-se que os níveis de Distorção de tensão na rede secundária (BT 127/220 V) possuem forte influência dos níveis de distorção impostos pela rede primária (MT- 13,8 kV), em ambos os exemplos, observa-se que uma forte distorção da carga, pouco afeta a distorção de tensão.

## 7. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DE DISTORÇÃO

Esse item visa demonstrar a nível global da empresa, a evolução dos níveis de distorção harmônica total de tensão. Para tanto, efetuou-se o acompanhamento das barras das subestações a cada primeira

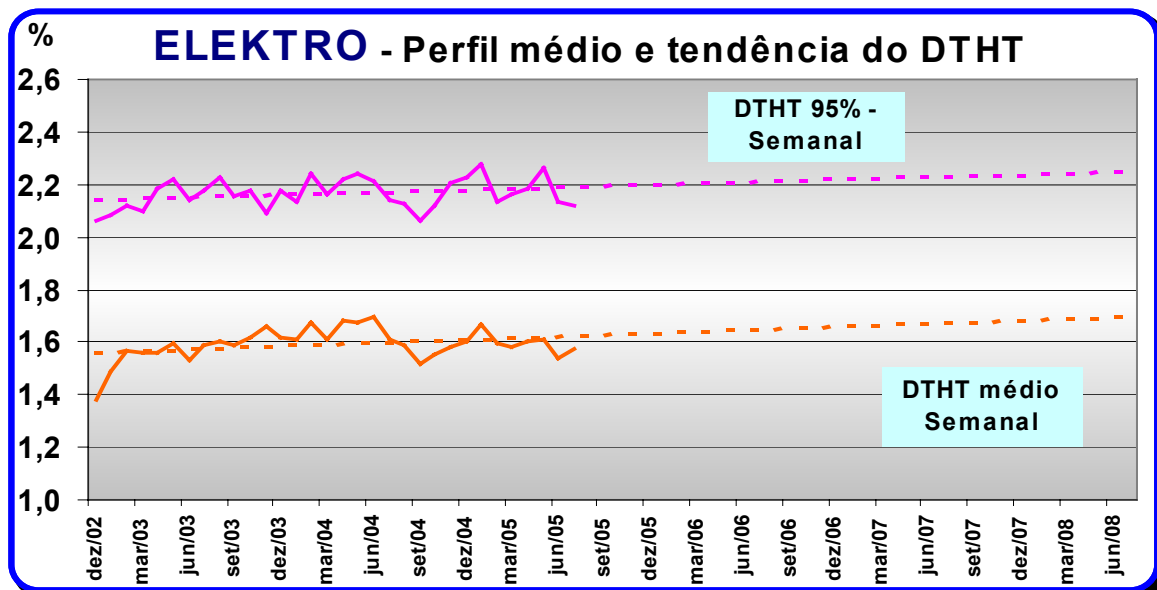


semana de cada um dos meses, ao longo de dez/2002 a jul/2005 (32 meses), de forma a possibilitar a verificação da evolução dos níveis de distorção harmônica de tensão ao longo desse período. O gráfico a seguir demonstra o valor da Distorção Total de Tensão obtido através dos registros dos valores médios obtidos nas 143 instalações, verificado na primeira semana de cada um dos meses no período citado. Apresentam-se dois perfis, sendo o superior relativo ao valor médio dos DTHT 95% em Base Semanal das instalações, e o inferior o perfil médio, obtido através das médias dos DTHT das instalações. Em ambos os casos os valores foram levantados para cada uma das fases.



A seguir obteve-se o valor médio entre as 3 fases, uma vez que os mesmos são bastante próximos, a fim de facilitar a avaliação da tendência destes níveis de distorção no sistema elétrico de distribuição, visando assim, proporcionar uma previsão prospectiva para os próximos 3 anos, dessa forma, adicionou-se a linha de tendência linear, que se trata de uma linha reta que melhor se ajusta ao conjuntos de dados utilizados.

Uma linha de tendência linear procura mostrar se algo está aumentando ou diminuindo com uma determinada taxa fixa.



Observa-se em ambos os casos uma tendência de elevação nos níveis de distorção harmônica de tensão no sistema elétrico de média tensão.

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 8.1. PERFORMANCE ATUAL

Com os resultados da performance atual, é possível ter-se uma visão comportamental do sistema elétrico, frente aos níveis de distorção harmônica de tensão, permitindo identificar eventuais áreas problemáticas, subsidiando ações para assegurar níveis adequados de fornecimento.

Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que a situação está sob controle frente a este indicador, uma vez que apenas uma das barras monitoradas apresentou valor superior ao recomendado (6,0%), indicada como adequado para este nível de tensão, pelo ONS no documento “Procedimento de Redes”. Salienta-se que 74% das barras possuem níveis inferiores a 3 %.

### 8.2. EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS DE DISTORÇÃO HARMÔNICA DE TENSÃO – DTHT

Se considerarmos que a carga evolua nos próximos anos, com as mesmas características de evolução verificada nos 32 meses de observação, é possível estimar que haverá uma expectativa de obter-se um valor de DTHT 95% Semanal da ordem de 2,25% em Julho/2008, que representa uma elevação de 5,6% entre dezembro de 2002 e julho de 2008, que reflete uma elevação média da ordem de **0,98%/ano**.

Já se observarmos a evolução baseada nos valores médios de DTHT semanal, obteremos uma elevação da ordem de 8,3% no mesmo período de Dez/2002 a Jul/2008, teremos assim, um valor médio da ordem de 1,69% em julho/2008, refletindo uma elevação média anual de **1,46%**. Em ambos os casos, as taxas de evolução são preocupantes no longo prazo.

### 8.3. CONCLUSÕES FINAIS

Destaca-se que as análises foram baseadas nos registros obtidos nas barras das subestações, ou seja, na saída dos circuitos de distribuição. Considerando-se um alimentador, este ponto tende a ser o de menor valor de distorção harmônica, uma vez, que este é o ponto de maior nível de potência de curto circuito. Portanto, junto aos clientes estes níveis tendem a serem mais elevados, principalmente nas redes de Baixa Tensão.

Verifica-se que a sistemática de acompanhamento em base diária adotada pelo “Procedimento de Redes”, é bastante restritiva.

As harmônicas provocam diversos efeitos negativos, tais como: Redução de vida útil de capacitores, aquecimentos em condutores e transformadores, com a conseqüente elevação das perdas elétricas, redução do fator de potência, etc. Através do conhecimento da performance do sistema elétrico é possível agir no sistema elétrico visando um melhor desempenho do mesmo. Através do domínio das informações é possível atuar com melhor nível de assertividade no sistema.

Constata-se que há necessidade de uma normalização que busque reduzir as harmônicas na sua origem (equipamentos), estabelecendo limites de emissão de correntes harmônicas pelas cargas, uma vez que hoje não há nenhum tipo de controle junto aos fabricantes e importadores.

É fundamental que a concessionária conheça as características de seu produto (Energia elétrica).

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 EURELECTRIC, Union of Electricity Industry – *Power Quality in European Electricity Supply Networks - 1ª edition*, february 2002.

2 Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica –PRODIST – *Módulo 8 –Qualidade de Energia Elétrica*, ANEEL – Versão preliminar de 24/08/2005.

3 Procedimentos de rede – ONS- Operador Nacional do Sistema Elétrico – *Módulo 2, Submódulo 2.8 – Gerenciamento dos indicadores de Desempenho da rede básica e de seus componentes*, versão de 10/10/2005.