



**GRUPO X  
SOBRETENSÕES, COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO E INTERFERÊNCIAS (GSI)**

**PROGRAMA DE CONTROLE DA QUALIDADE DA TENSÃO APLICADO NA EPTE**

**Antonio A. C. Arruda\* Rogério L. Tompson Waldeci de Macedo Nelson da S. Vilares**

Empresa Paulista de Transmissão de Energia Elétrica - EPTE

**RESUMO**

No presente Informe Técnico são apresentados os procedimentos utilizados e os resultados obtidos no Programa de Controle da Qualidade da Tensão implantado na EPTE, o qual constitui o primeiro mapeamento dos níveis de harmônicos, desequilíbrio e severidade de flicker realizado em Barras de uma empresa estritamente de transmissão de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE**

Qualidade da Tensão - Harmônicos – Desequilíbrio – Flutuação de tensão

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O novo modelo que esta sendo implantado para o Sistema Elétrico brasileiro, com a constituição de empresas que vão atuar de forma administrativa independente na Geração, Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica, impõe a necessidade de se estabelecer novos critérios de controle da qualidade da tensão de modo a garantir o comprometimento de todas as empresas envolvidas na qualidade do produto que chega ao consumidor final.

Este comprometimento, que deverá ser garantido principalmente através de compromissos contratuais firmados entre as empresas envolvidas, precisará estar fundamentado em critérios que sejam definidos pelo poder concedente ou controladores, como por exemplo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ou

a Comissão de Serviços Públicos do Estado de São Paulo (CSP-SP), em consonância com as necessidades dos consumidores e concessionários.

Quanto ao aspecto de continuidade de fornecimento os índices para o controle da frequência das interrupções já foram estabelecidos e estão sendo fiscalizados, mas com relação ao aspecto de conformidade, principalmente quanto aos aspectos que envolvam o controle da forma de onda da tensão, existem apenas recomendações propostas por Grupos de Trabalho do GCOI e GCPS que ainda não foram regulamentadas.

A Empresa Paulista de Transmissão de Energia Elétrica S. A. (EPTE) constitui a primeira empresa brasileira voltada exclusivamente para a prestação de serviços de transmissão e opera um Sistema de Transmissão de Alta Tensão composto de mais de 880 km de Circuitos Transmissão em tensões de 230 kV, 345 kV, 440 kV e 23 estações que totalizam uma capacidade instalada de transformação superior a 16000 MVA. O Sistema de Transmissão da EPTE é responsável pelo transporte de mais de 85 % da energia distribuída pelas Empresas Eletropaulo Metropolitana S.A. (ELMA) e Empresa Bandeirante de Energia S. A. (EBE), na região mais industrializada e densamente povoada do país.

A Figura 1 ilustra a situação geográfica do Sistema de Transmissão da EPTE em relação à área de concessão das empresas distribuidoras ELMA e EBE. As estações identificadas por siglas são as Estações Transformadoras de Transmissão (ETT) da EPTE que possuem Barras de interligação com as referidas empresas distribuidoras em tensão de 88/138 kV.

---

\* Av. Alfredo Egidio de Souza Aranha, 100 – Bloco D – 4º andar – São Paulo – SP – CEP 04726-905  
Tel. (011) 534-3458 – Fax (011) 534-3450

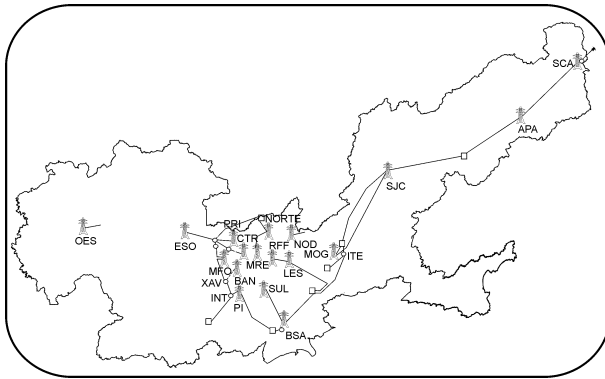


FIGURA 1 – Sistema de Transmissão EPTE

Consciente da sua responsabilidade, a EPTE implantou um **Programa de Controle da Qualidade da Tensão** cujo objetivo é fazer o diagnóstico da qualidade da tensão das suas barras de interligação com as empresas distribuidoras e avaliar o impacto dos Limites que estão sendo propostos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

## 2.0 – LIMITES RECOMENDADOS

O Projeto RE-SEB, “Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema Elétrico”, tendo como base os trabalhos desenvolvidos no âmbito do GCOI e GCPS esta propondo que sejam adotados os seguintes Limites Globais para controle da qualidade da forma de onda da tensão:

### 2.1 Distorção harmônica

Os Limites Globais recomendados para a distorção harmônica, apresentados na Tabela 1, são expressos em termos de valores máximos admissíveis para as tensões harmônicas (Vh) e para a Distorção Harmônica Total (DHT).

Tabela 1 – Limites Globais Tensões Harmônicas

V < 69 kV				V ≥ 69 kV			
ÍMPARES		PARES		ÍMPARES		PARES	
h	Vh	h	Vh	h	Vh	h	Vh
3,5,7	5 %	2,4,6	2 %	3,5,7	2 %	2,4,6	1 %
9,11,13	3 %	≥ 8	1 %	9,11,13	1,5 %	≥ 8	0,5 %
15 a 25	2 %			15 a 25	1 %		
≥ 27	1 %			≥ 27	0,5 %		
DHT = 6 %				DHT = 3 %			

### 2.2 Flutuação de tensão

Os Limites Globais recomendados para a flutuação de tensão, apresentados na Tabela 2, são expressos através dos indicadores de severidade de flicker Pst, curta duração, e Plt, longa duração.

Tabela 2 – Limites Globais Pst e Plt

Todos os níveis de tensão	
Pst	1 pu
Plt	0,8 pu

### 2.3 Desequilíbrio de tensão

O Limite Global recomendado para o desequilíbrio de tensão, apresentado na Tabela 3, é expresso através do fator de desequilíbrio (k) dado pela relação entre a componente de sequência negativa e positiva da tensão.

Tabela 3 – Limite Global Fator de Desequilíbrio

Todos os níveis de tensão	
k	2 %

## 3.0 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA O DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DA TENSÃO

Os instrumentos, procedimentos de medição e análise adotados pela EPTE para a realização do Diagnóstico da Qualidade da Tensão das suas Barras de interligação em tensão de 88/138 kV, quanto a distorção harmônica, desequilíbrio e flutuação de tensão, são detalhados a seguir.

### 3.1 Instrumentação

Para a realização das medições necessárias para o Diagnóstico da Qualidade da Tensão, a EPTE está utilizando os seguintes transdutores, sistemas de medição e equipamentos:

3.1.1 Transdutor de tensão: Para a monitoração das tensões são utilizados Divisores de Potencial Capacitivos (DPC) ou os próprios Transformadores de Potencial tipo indutivo (TP) existentes nas Barras de 88/138 kV das Estações Transformadoras de Transmissão (ETT) da EPTE. A experiência de medição da EPTE, conforme medições simultâneas utilizando os dois tipos de transdutores, indica que para a medição de harmônicos até a 25ª ordem (1500 Hz) não existe diferença significativa entre os resultados obtidos com o DPC ou com o TP tipo indutivo.

3.1.2 Sistema informatizado de medição de harmônicos e desequilíbrio EPTE, composto de um Medidor Analisador de Sistemas XITRON TECHNOLOGIES, modelo 2503 AH 3-CHANNEL POWER ANALYSIS SYSTEM, com 03 (três) canais de tensão e 03 (três) canais de corrente e que permite a medição das seguintes grandezas: Valores RMS verdadeiros, valores de pico e espectro harmônico das

tensões e correntes até a 49ª ordem; Potências ativa, reativa e ângulos de deslocamento entre tensões e correntes para a frequência fundamental (60 Hz) e harmônicas. O gerenciamento do Sistema Informatizado de Medição de Harmônicos e Desequilíbrio é realizado por um microcomputador padrão PC através de um programa desenvolvido pela própria EPTE.

3.1.3 Sistema de monitoração da qualidade da tensão Reliable Power Recorder (RPR) da Reliable Power Meters que além de realizar a medição de harmônicos e desequilíbrio faz a análise da flutuação da tensão através da medição dos indicadores de severidade de flicker Pst e Plt conforme padrão IEC-868.

### **3.2 Procedimento de medição**

As medições realizadas pela EPTE para o diagnóstico da qualidade da tensão das suas barras de interligação estão sendo feitas conforme a metodologia que esta sendo proposta pelo GTAD-SCEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS na minuta do Relatório “Procedimentos de Medição para Aferição da Onda de Tensão quanto ao aspecto de Conformidade” de Outubro/97. Este procedimento que compreende na monitoração das tensões fase-terra em cada ponto de avaliação pelo período mínimo de 1 (uma) semana, sete dias consecutivos, tem por objetivo determinar o perfil do estado de perturbação da forma de onda da tensão para as diversas condições operativas e de carregamento do Sistema de Transmissão.

Para a medição de harmônicos e desequilíbrio são feitas aquisições de uma amostra de 8 ciclos de 60 Hz a cada intervalo de 1 (um) minuto, onde são calculadas as tensões harmônicas em % da fundamental (Vh), a Distorção Harmônica Total (DHT) em %, o valor eficaz (rms) da tensão fundamental em kV e o ângulo de deslocamento das tensões entre fases em graus. O fator de desequilíbrio (k) em % é calculado também a cada intervalo de 1 minuto.

Para a medição da flutuação de tensão é utilizada a metodologia recomendada na Publicação IEC-868 com determinação a cada intervalo de 10 minutos do indicador de severidade de flicker de curta duração (Pst) em pu e calculado a cada janela fixa de 2 horas do indicador de severidade de longa duração (Plt) também em pu.

Os resultados obtidos durante o período de medições, mínimo 1 semana, são agrupados em blocos diários de dados, 24 horas, para serem tratados posteriormente

de forma apropriada para a determinação dos valores representativos para efeito de comparação com os Limites Globais recomendados.

### **3.3 Procedimento de análise**

Os resultados obtidos nas medições, blocos diários de dados, são tratados estatisticamente conforme procedimento proposto pelo GTAD-SCEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS na minuta do Relatório “Procedimentos de Medição para Aferição da Onda de Tensão quanto ao aspecto de Conformidade” de Outubro/97, com a determinação para cada dia de medição dos valores de Distorção Harmônica Total (DHT), Tensões harmônicas (Vh), Fator de desequilíbrio (k) e Indicador de Severidade de flicker (Pst) que foram superados em apenas 5 % dos registros obtidos (Vh95%, DHT95%, k95%, Pst95%).

Os valores de referência que serão considerados como representativos do estado de perturbação da Barra monitorada para efeito de comparação com os respectivos LIMITES GLOBAIS, são os maiores valores diários de DHT95%, Vh95%, k95% e Pst95% verificados durante o período de medições (1 semana).

Os resultados do Diagnóstico da Qualidade da Tensão realizado para cada Barra de interligação do Sistema Elétrico EPTE são então apresentados em Fichas Individuais de avaliação, ver modelo na figura 2, contendo as seguintes informações:

- Estação: Nome da estação (ETT)
- Ponto de avaliação: Dados da Barra monitorada
- Período de medição: Data de início e término das medições
- Potência instalada: Potência de transformação total instalada na Barra monitorada em MVA
- Potência de curto-circuito 3Φ: Valor da Potência de curto-circuito trifásica em condições normais de operação da Barra em MVA
- Potência Reativa instalada: Potência nominal e efetiva do total dos Bancos de Capacitores da Barra monitorada em MVAr
- Gráficos: “Variação de DHT95%, Vh95%, k95% e Pst95%”: Gráficos com os maiores valores diários de DHT em %, Vh em %, Fator k em % e Pst em pu que foram superados em apenas 5 % dos registros obtidos em um dia da semana monitorada
- Gráfico “Espectro Harmônico Vh95% & Limite Global”: Gráfico representativo do espectro harmônico característico das tensões da barra monitorada representado pelos maiores valores de DHT95% e Vh 95% diários, verificados durante o período de medição, e respectivos Limites Globais.

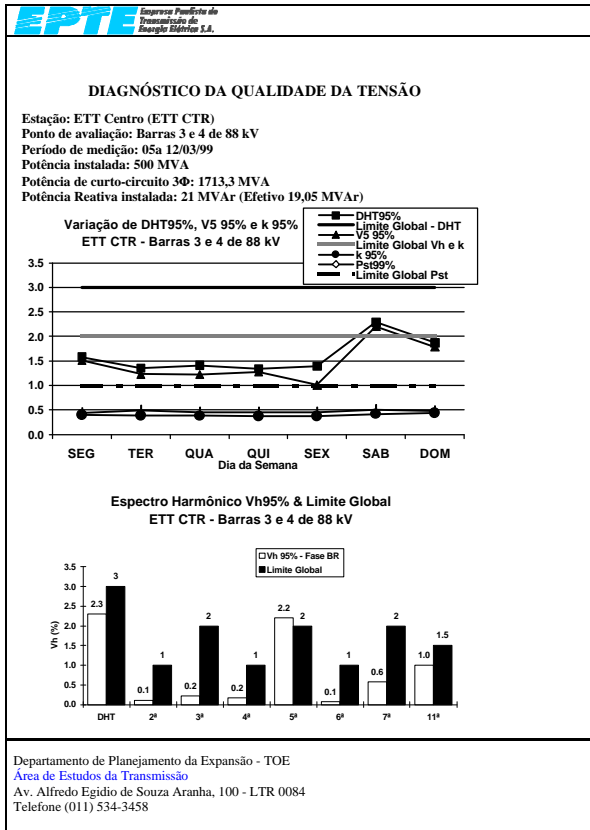


FIGURA 2

**4.0 – MEDIÇÕES & RESULTADOS**

O cronograma das medições para o diagnóstico da qualidade da tensão das barras de interligação da EPTE teve o seu início em agosto de 1998 e tem o seu término previsto para setembro de 1999. Até março de 1999 foram monitoradas 11 das 19 Barras de interligação da EPTE em tensão de 88/138 kV e os principais resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos Diagnósticos

ETT	DHT95% & Vh95%				K95%	Pst95%
	DHT	V5	V7	V11		
BSA	1,7 %	0,8 %	1,5 %	0,3 %	0,3 %	-
ESO	1,8 %	1,7 %	0,4 %	0,8 %	0,4 %	-
NOR	2,2 %	2,1 %	0,6 %	1,1 %	0,6 %	-
OES	0,9 %	0,8 %	0,6 %	0,3 %	0,7 %	-
SJC	1,4 %	1,3 %	0,7 %	0,2 %	0,2 %	-
SUL <sub>5-6</sub>	2,3 %	2,3 %	0,4 %	0,2 %	0,7 %	-
SUL <sub>3-4</sub>	0,9 %	0,8 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %	-
MFO	1,1 %	1,0 %	0,2 %	0,3 %	0,3 %	-
BAN	1,9 %	1,8 %	0,2 %	0,3 %	0,2 %	-
CTR	2,3 %	2,2 %	0,6 %	1,0 %	0,4 %	0,4 pu
PRI	1,3 %	1,2 %	0,3 %	0,8 %	0,4 %	0,4 pu

Os resultados obtidos nas medições forneceram o seguinte panorama sobre a qualidade da tensão nas Barras de interligação da EPTE:

4.1 Distorção harmônica

O panorama da qualidade da tensão quanto a distorção harmônica é ilustrado através das figuras 3, 4, 5 e 6, onde são apresentados os gráficos de probabilidade acumulada dos valores máximos de DHT95% e Vh95% das tensões harmônicas que apresentaram valores mais significativos (V5, V7 e V11), em função do número de Barras avaliadas até o momento.

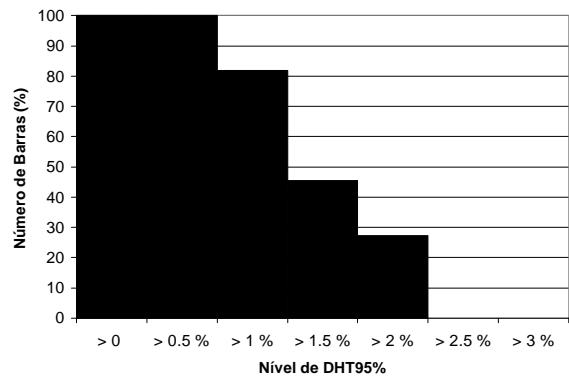


FIGURA 3

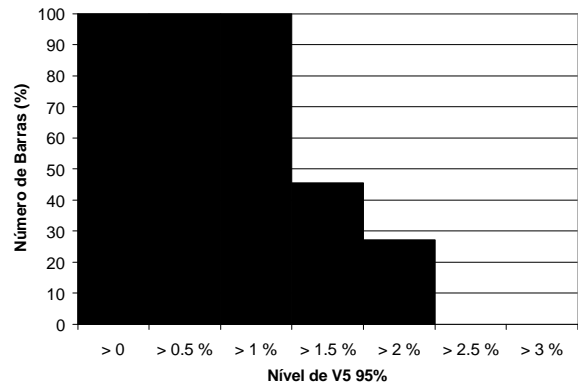


FIGURA 4

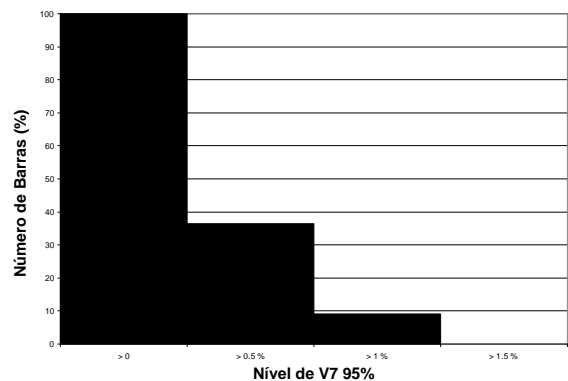


FIGURA 5

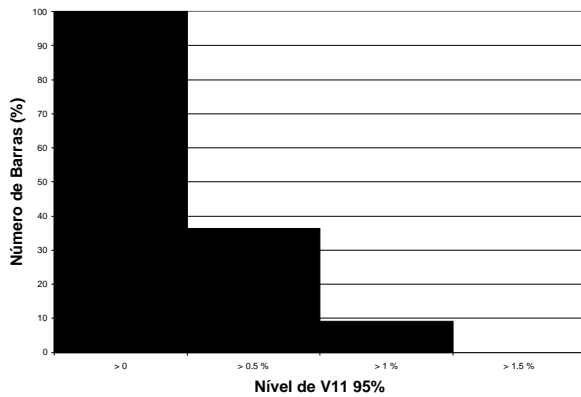


FIGURA 6

### 3.2 Desequilíbrio

O panorama da qualidade da tensão quanto ao desequilíbrio de tensão é ilustrado através da figuras 7 onde é apresentado o gráfico de probabilidade acumulada dos valores máximos do Fator de desequilíbrio (k95%) em função do número de Barras avaliadas até o momento.

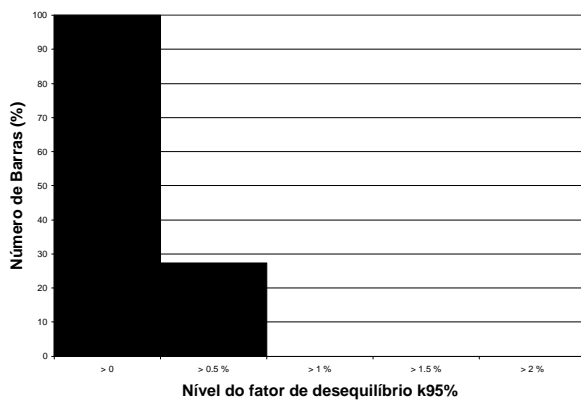


FIGURA 7

### 3.3 Flutuação de tensão

Quanto à flutuação de tensão, em função do instrumento utilizado para esta medição ter sido adquirido após o início do programa de medições, apenas duas das 11 Barras avaliadas até o momento foram diagnosticadas quanto à severidade de flicker.

A Tabela 5 apresenta o estado da perturbação quanto à flutuação de tensão nas duas barras avaliadas através de alguns dos índices que estão sendo propostos na literatura para serem representativos do estado de perturbação para efeito de comparação com os respectivos Limites recomendados. O objetivo de se determinar estes 3 índices é fazer uma análise da sensibilidade dos mesmos às perturbações associadas à ocorrências nos Sistema Elétrico.

Tabela 5 – Indicadores de Severidade de Flicker

ETT	Pst99%	Pst95%	Pltmax
CTR	0,5 pu	0,4 pu	0,4 pu
PRI	2,1 pu	0,3 pu	3,3 pu

- Pst99%: maior valor diário de Pst que foi superado em apenas 1 % dos registros;
- Pst95%: maior valor diário de Pst que foi superado em apenas 5 % dos registros;
- Pltmax: maior valor de Plt diário medido em cada barra durante o período monitorado.

## 4.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos após a realização do Diagnóstico da Qualidade da Tensão de 11 das 19 Barras de interligação da EPTE em tensão de 88/138 kV, forneceram as seguintes indicações quanto ao estado de perturbação das referidas Barras:

4.1 Quanto à distorção harmônica as tensões harmônicas (Vh) que apresentaram valores significativos são aquelas geradas por conjuntos retificadores de 6 e 12 pulsos, principalmente as tensões harmônicas de 5ª, 7ª e 11ª ordens, demonstrando o impacto e a importância que estas cargas tem na qualidade da tensão.

4.2 Quando à variação da magnitude da distorção harmônica ao longo da semana, constatou-se que os maiores valores de tensões harmônicas ocorrem principalmente nos finais de semana (Sábado e Domingo), conforme ilustrados na figura 8.

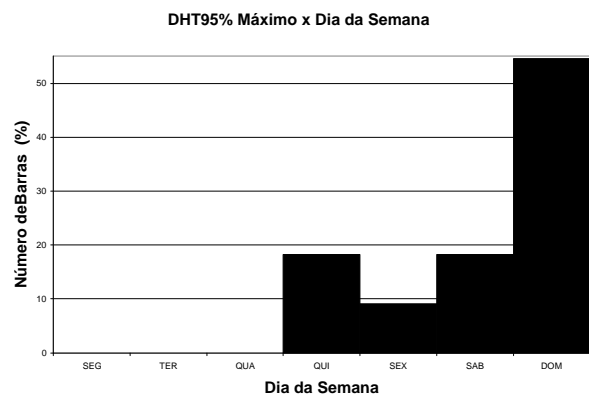


FIGURA 8

4.3 A única tensão harmônica cujo valor de Vh95% superou o respectivo Limite Global foi a tensão harmônica de 5ª ordem. Estas superações, verificadas em apenas 3 das Barras avaliadas, ocorreram sempre em finais de semana, sendo duas vezes Domingo e uma vez Sábado. As superações verificadas no Domingo ocorreram em períodos onde houve a

diminuição da potência de curto-circuito da barra em função do desligamento de bancos de transformadores para manutenção. Na Barra onde a superação ocorreu num Sábado a configuração operativa da ETT estava na sua condição normal e o valor de  $V_{h95\%}$  superou em 15 % o respectivo Limite Global.

4.4 Quanto ao desequilíbrio de tensão em nenhuma das Barras avaliadas houve a violação do Limite Global que está sendo recomendado pelo ONS fator de desequilíbrio k.

4.5 Quanto à flutuação de tensão, apesar do número de Barras avaliadas ser reduzido, a análise dos resultados obtidos indicou que os índices Pst99% e Pltmax são muito afetados por perturbações ou manobras não rotineiras no Sistema Elétrico. Exemplo disto pode ser observado nos valores calculados para a ETT PRI onde os valores de Pst99% e Pltmax informados na Tabela 5 foram calculados a partir dos valores de Pst apresentados na Figura 9, os quais correspondem a um dia no qual a barra monitorada foi afetada por 3 ocorrências no Sistema Elétrico: duas provocadas por “voltage sag” de aproximadamente 53 % durante 7 ciclos cada, e uma provocada por “voltage sag” de aproximadamente 85 % durante 4 ciclos.

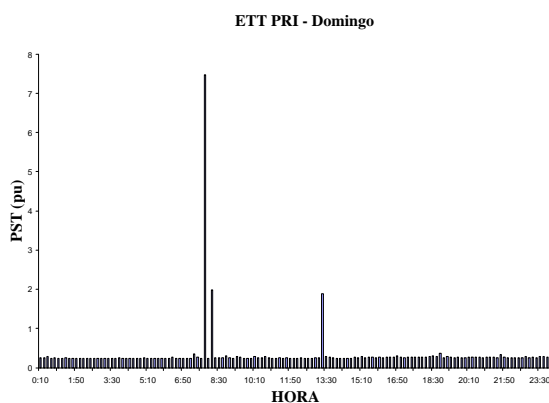


FIGURA 9

Considerando que os Limites Globais recomendados pelo ONS não se aplicam às perturbações momentâneas provocadas pela ocorrência de defeitos, o índice que se demonstrou mais apropriado para ser representativo para avaliação da qualidade da tensão quanto a flutuação de tensão é o Pst95%, conforme ilustra a Tabela 6 onde são apresentados os valores de Pst99% e Pst95% verificados ao longo na semana monitorada na ETT PRI.

Tabela 6 – Registros do Pst na ETT PRI

Pst	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
99%	0,4 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	2,1 pu
95%	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,3 pu	0,4 pu

## 5.0 CONCLUSÕES

O trabalho de Diagnóstico da Qualidade da Tensão que está sendo realizado pela EPTE conforme os procedimentos recomendados pelo GTAD/GCOI & GTCP/GCPS, permite as seguintes conclusões quanto ao impacto que terá a adoção dos Limites Globais quanto a distorção harmônica, desequilíbrio e flutuação de tensão que estão sendo propostos pelo ONS:

5.1 Quanto às providências necessárias para adequar a realidade atual da qualidade da tensão das Barras de interligação em tensão de 88/138 kV da EPTE com o padrão que está sendo proposto pelo ONS, os resultados obtidos indicam que em apenas 1 das 11 Barras avaliadas, e com relação apenas à tensão harmônica de 5ª ordem, haveria a necessidade de adoção de medida corretiva ou mitigadora no Sistema de Transmissão da EPTE.

5.2 Quanto aos estudos de impacto da entrada em operação de novas cargas especiais, apesar de em apenas em uma das Barras estar ocorrendo a superação do Limite Global recomendado, os resultados obtidos indicaram que em aproximadamente 45 % das Barras avaliadas estão sendo superados os níveis de saturação de 70 % do Limite Global considerados para a definição dos Limites por consumidor. Esta constatação indica que nestas barras os estudos de análise do impacto na qualidade da tensão, provocado pela entrada em operação de novas cargas especiais, deverão considerar Limites por consumidor inferiores aos que estão sendo recomendados pelo ONS.

## 6.0 – BIBLIOGRAFIA

- (1) CECE-SCEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS,. Relatório “Critérios e Procedimentos para o Atendimento a Consumidores com Cargas Especiais”, Edição de Fevereiro/1993. Brasil.
- (2) GTAD-SECEL/GCOI & GTCP-CTST/GCPS, Minuta do Relatório “Procedimentos de Medição para Aferição da Qualidade da Onda de Tensão quanto ao aspecto de Conformidade”, Edição de Outubro/1997. Brasil.
- (3) ONS, Minuta do Relatório “Procedimentos de Rede do Operador do Sistema Elétrico”, Edição de Março/1999. Brasil.