



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA - GCQ**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EQUIPAMENTOS ELETRODOMÉSTICOS DURANTE  
ENSAIOS-RESULTADOS DE SIMULAÇÕES (SOBRETENSÕES)**

**Hermes R. P. M. de Oliveira\***  
AES SUL

**Nelson Clodoaldo de Jesus**  
UNIJUÍ

**Gustavo Brendler Viecili**  
UNIJUÍ

**Cássio F. Bazana Nonenmacher**  
UNIJUÍ

**Fabiano Tondello Castoldi**  
UNIJUÍ

**RESUMO**

Apresenta-se neste trabalho os principais resultados de testes de sobretensões em equipamentos eletrônicos. Foram realizados ensaios por meio da aplicação de sobretensões impulsivas bem como na frequência industrial em televisores novos e usados, para verificação das condições de operação e suportabilidade dos equipamentos. O estudo visa contribuir ao termo de indenizações, fornecendo informações e um levantamento a título de critérios, limites e procedimentos técnicos para análise do tema de solicitações de ressarcimentos de danos elétricos em equipamentos. Sob este mesmo foco e considerando aspectos gerais de suas complexidades e particularidades são discutidas algumas características sobre o impacto de possíveis avarias e a relação entre os agentes envolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sobretensões, Equipamentos Eletro-Eletrônicos, Suportabilidade, Ressarcimentos, Qualidade de Energia.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Avaliação da operação de equipamentos submetidos a perturbações decorrentes da degradação da qualidade de energia é de fundamental importância ao estabelecimento de procedimentos e critérios técnicos no que tange ao desempenho e limites de funcionamento. Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos neste sentido, porém, geralmente, analisam-se os parâmetros de sensibilidade dos equipamentos frente a perturbações e distúrbios, os quais, em sua grande maioria, tratam do impacto de harmônicos, desequilíbrios e afundamentos de tensão, amplamente justificativos no ambiente industrial. Entretanto, sob o prisma de proteção e suportabilidade de equipamentos residenciais, o parâmetro relativo as sobretensões torna-se o principal ponto a ser investigado. Dessa maneira, o objetivo principal do trabalho é o levantamento da suportabilidade de equipamentos submetidos a sobretensões, contribuindo em termos técnicos ao tema de ressarcimento de danos elétricos em equipamentos instalados em unidades consumidoras. Inicialmente, foram propostos ensaios e solicitações de regime permanente em televisores de diferentes marcas e com tempos determinados de vida útil. Os procedimentos foram elaborados no sentido de submeter às amostras a sobretensões na frequência industrial por diversos patamares de tensões e períodos de aplicação, objetivando determinar os reais limites de operação dos componentes. Da análise, verificou-se que tanto os modelos novos como os usados apresentam, relativamente, um alto grau de suportabilidade a estas sobretensões, com limitação na fonte de entrada, principalmente em função da especificação da tensão do filtro capacitivo. Por outro lado, tomando-se como base uma forma de onda transitória

\* Av. Presidente Roosevelt, 68 - CEP 93010-060 - São Leopoldo - RS - BRASIL  
Tel.: (51) 589-6364 - Fax: (51) 590-7587 - E-MAIL: hermes.oliveira@aes.com

esperada em sistemas de distribuição, quando da parcela principal de transferência direta em função da atuação de pára-raios ZnO instalados no primário do transformador, realizou-se ensaios seqüenciais de sobretensões impulsivas em cada amostra. Em todos os ensaios os equipamentos eletro-eletrônicos continuaram a operar quando conectados a rede com tensão nominal. Deste modo, realizou-se um levantamento experimental do impacto de sobretensões transitórias e em regime na operação de televisores. Tomando-se como base os resultados obtidos em termos de suportabilidade e os recentes fatores explícitos em resolução específica sobre ressarcimentos de equipamentos por danos elétricos, apresentam-se considerações sobre o problema das avarias de equipamentos, bem como o envolvimento entre as partes no que refere ao estabelecimento de procedimentos e critérios técnicos para análise de solicitações por parte de consumidores.

## RESULTADOS DOS ENSAIOS EM TV'S

Para um levantamento dos níveis de susceptibilidade de equipamentos eletro-eletrônicos sob o impacto de sobretensões, foram realizados preliminarmente ensaios em televisores com diferentes marcas e tempo de vida útil, sob solicitações de sobretensões em regime permanente e transitório. Os principais resultados obtidos, incluindo alguns testes destrutivos são apresentados como se segue [5].

### Caso 1 - Sobretensões em Regime

Nestes primeiros ensaios, aplicou-se sobretensões a 60 Hz em seis amostras de TV's de 20" ( $U_N = 220V$ ), incluindo três aparelhos novos e três usados, na faixa de 5 a 8 anos, de diferentes modelos e fabricantes. A seguir, tem-se um resumo dos dados obtidos durante os testes, nos quais adotou-se aplicações seqüenciais de sobretensões de 1,05 até 1,8 pu, com tempo de exposição variando em 30 seg, 1 min. e 5 min.

#### Ensaio em TV's Novas

Apresenta-se na figura 1 o comportamento das tensões durante o ensaio de maior severidade para os aparelhos sob teste (faixa de 1,5 a 1,8 pu), mantendo-se as amostras com sobretensões durante um período total de 5 minutos, sendo que neste caso, verificou-se falhas de operação motivadas por queimas de componentes em duas das amostras.

A tabela I mostra o resumo dos resultados e, portanto, os níveis de vulnerabilidade e suportabilidade das TV's frente às solicitações de sobretensões impostas. A partir de 1,6 pu verificou-se um tipo de disfunção, sendo que os equipamentos só ligavam após alguns segundos, sem, entretanto quaisquer indícios de falha prematura. Um fato curioso a destacar é que a amostra (A-Nova), com um maior número de disfunções registradas foi a única a não apresentar danos permanentes.

Tabela I - Suportabilidade em Regime de TV's Novas

Tensão (pu)	1,10	1,25	1,50	1,55	1,60	1,65	1,60	1,75	1,80
30 seg.	3A	3A	3A	3A	3A	2D	2D	2D	2D
1 min.	3A	3A	3A	3A	1D	2D	2D	2D	2D
5 min.	3A	3A	3A	3A	1D	2D	2D	2D	2Q

- 3A - Operação adequada de todas as amostras;  
 1D - Uma das amostras apresentou disfunção;  
 2D - Duas das amostras apresentaram disfunção;  
 2Q - Duas das amostras sofreram queimas.

As figuras 2 e 3 mostram as sobrecorrentes verificadas em duas amostras, as quais sofreram danos e queimas subsequentes em função das sobretensões aplicadas.

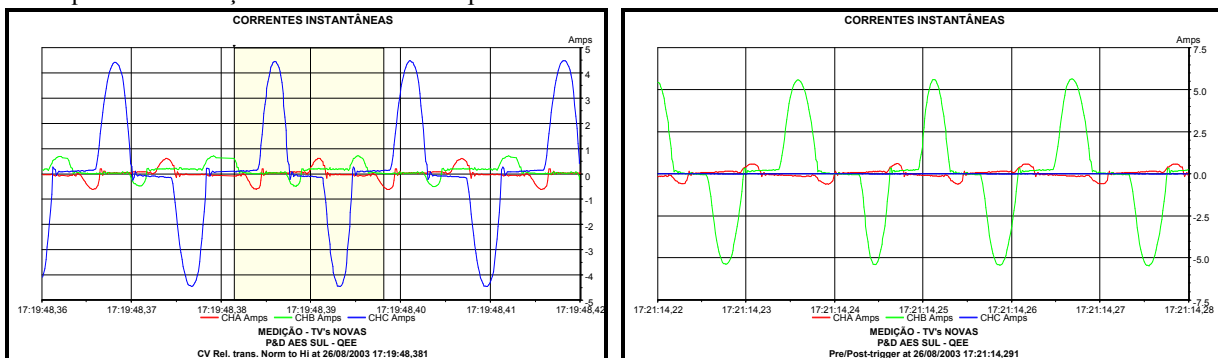


Figura 3 - Sobrecorrentes registradas na amostra B-N (Nova)

Em avaliação posterior, foi identificado como primeiro elemento a sofrer avarias durante os testes destrutivos o capacitor do filtro de entrada de alimentação das TV's, em ambos os casos, indicando uma especificação nominal de 400 V, sendo este um fator importante na determinação dos limites operacionais dos equipamentos sob ensaio. As figuras 4 e 5 mostram detalhes no momento das avarias e o componente afetado em uma das amostras das TV's.



Figura 4 - Ensaio destrutivo de TV's



Figura 5 - Falha do componente

### Ensaio em TV's Usada

Considerando as mesmas condições e procedimentos dos ensaios anteriores, apresentam-se os resultados obtidos para TV's usadas. A figura 6 mostra o comportamento das tensões durante o ensaio de maior impacto em termos de tensão x tempo, sendo que, neste caso, também se verificou falha de operação motivada por queima do mesmo componente.

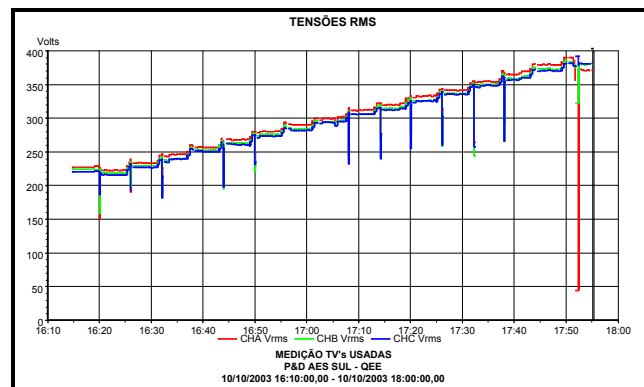


Figura 6 - Seqüência de sobretensões em regime aplicadas em Tv's usadas

Neste ensaio ocorreu a queima de uma das amostras no momento em que foi submetida à tensão com uma magnitude de 385 V ou 1,75 pu, por um intervalo de 5 minutos. A tabela II mostra o resumo dos resultados com o propósito de levantamento dos níveis de suportabilidade das TV's usadas frente as sobretensões em regime permanente. Um fator a destacar é que durante os ensaios para tensões de 1,7 pu por 30 seg., uma das amostras apresentou disfunção momentânea, voltando a operar normalmente após a seqüência dos testes. Por outro lado, uma outra amostra é que apresentou falha permanente quando da aplicação de 1,75 pu por 5 min.

Tabela II - Suportabilidade em Regime de TV's Usadas

Tensão (pu)	1,10	1,25	1,40	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75
Tempo									
30 seg.	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	1D	3A
1 min.	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A
5 min.	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	1Q

3A - Operação adequada de todas as amostras;  
 1D - Uma das amostras apresentou disfunção;  
 1Q - Uma das amostras sofreu queima.

A figura 7 ilustra o início do aumento e oscilação de corrente da amostra, que apresentou queima durante os

testes.

Na seqüência, tem-se o momento exato de falha de isolamento, onde a corrente de entrada apresenta comportamento senoidal, portanto, não-característico de fontes chaveadas com retificação de onda completa e filtro capacitivo. Posteriormente, na mesma figura 8, ocorre a interrupção da corrente de entrada no final do processo de queima da TV.

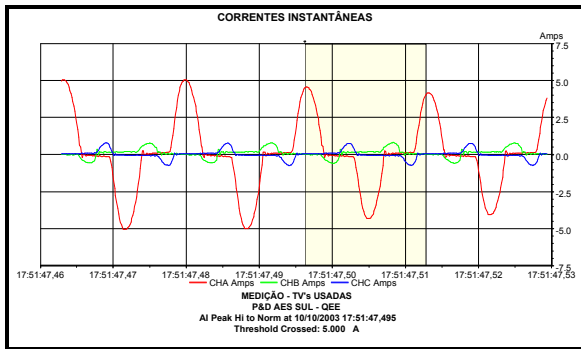


Figura 7 - Sobrecorrentes registradas na amostra A-U (Usada)

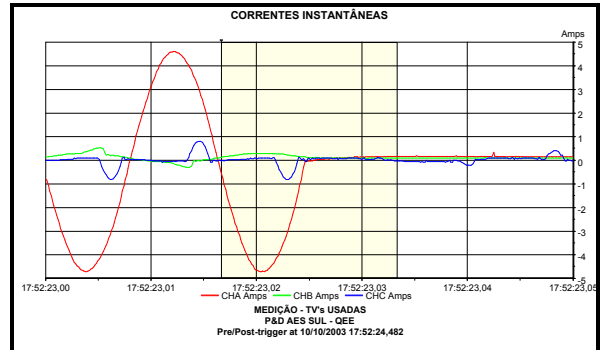


Figura 8 - Correntes instantâneas durante momento final da queima de TV usada para sobretensões em regime (Amostra A-U)

A título de ilustração, a figura 9 apresenta o registro do momento de ocorrência da queima do equipamento. Como importante resultado obtido, destaca-se a suportabilidade dos equipamentos em função do capacitor do filtro de entrada na alimentação dos aparelhos de TV, neste caso, 385V, sendo este o componente que apresentou as avarias em todas as queimas. Neste caso, a tensão máxima suportável ficou um pouco abaixo dos testes anteriores, justamente pela diferente especificação da tensão nominal dos capacitores (DC).

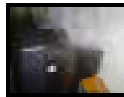
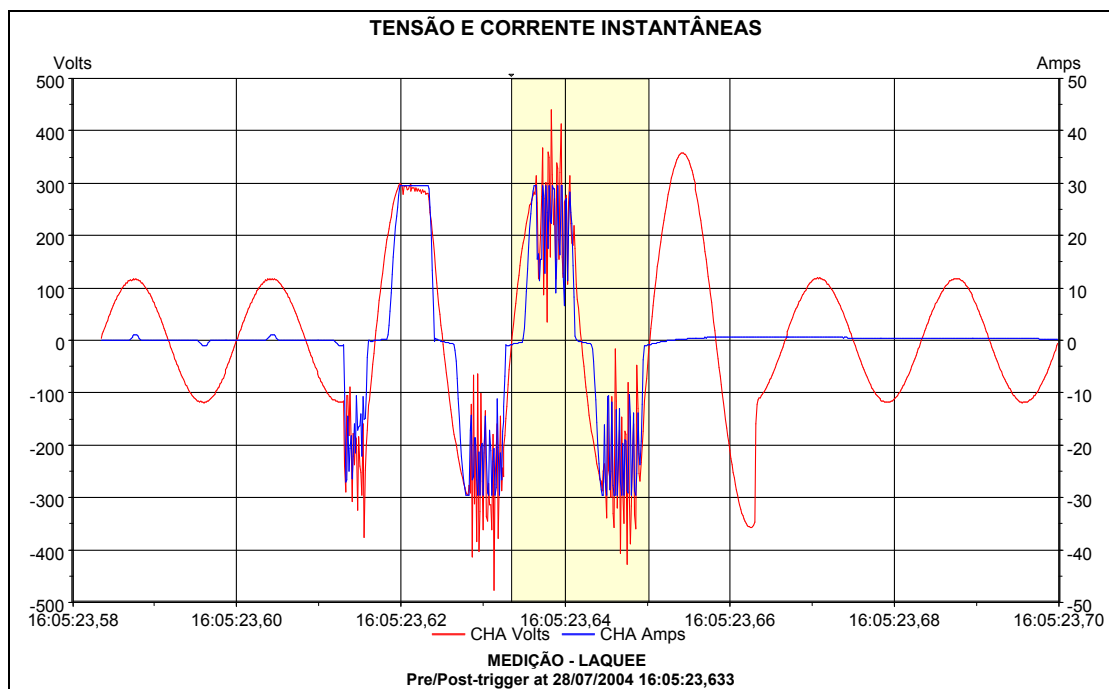
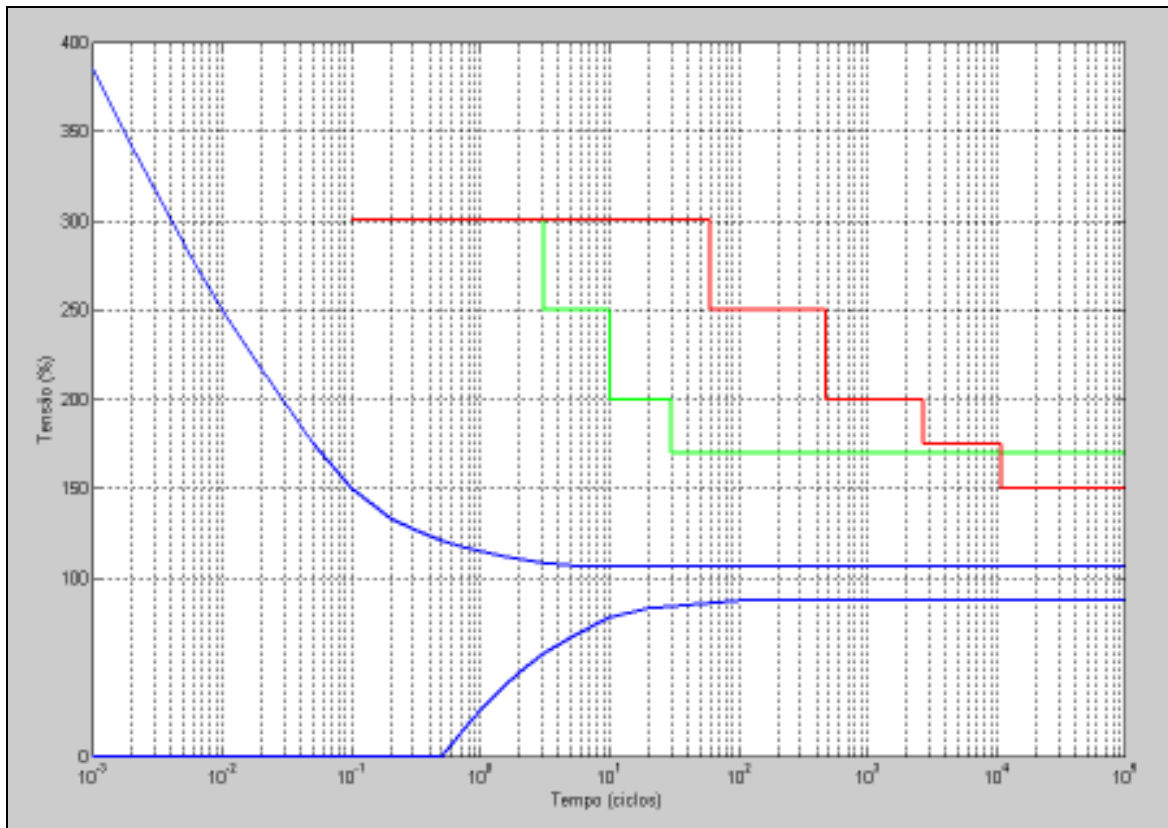


Figura 9 - Momento da queima de uma das amostras de TV's Usadas

## SOBRETENSÕES DE CURTA DURAÇÃO

Complementando a análise do impacto de sobretensões em equipamentos





## Caso 2 - Sobretensões Transitórias

Nestes ensaios foram aplicadas sobretensões impulsivas em TV's de 14", sendo duas amostras usadas e três novas. A título de análise, adotou-se como base dos testes, os resultados obtidos em [4]. A figura 10 reproduz as formas de onda deste trabalho, o qual se encontra apoiado em fortes bases científicas. Considera-se uma rede típica de distribuição em baixa tensão a injeção de impulso de corrente de 1 kA (1.2 x 50  $\mu$ s) em rede de média tensão com impedância de surto de 400  $\Omega$ , em função da resistência de aterramento do transformador. Além disso, considerou-se consumidor representado por 30  $\Omega$  e indutância do cabo de descida do aterramento de 1mH/m, comprimento da rede de baixa tensão igual a 30 m, transformador entrelaçado e resistividade do solo de 1000  $\Omega$ .m, sendo desconsideradas possíveis disrupções. Os resultados das sobretensões correspondem a parcela principal de transferência da rede de média para a de baixa-tensão, ou seja, a elevação do potencial de neutro resultante da corrente drenada pelos pára-raios (ZNO - 12 kV/10 kA). Apesar das propriedades lineares permitirem a projeção de severidade e solicitações para a injeção de correntes com quaisquer amplitudes, tendo como base a relação de Volts/kA, os valores podem ser considerados como esperados, supondo que para descargas de maior intensidade há probabilidade de falhas de isolamento na rede e conseqüente atenuação do mesmo [4].

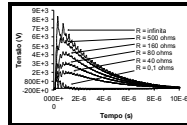


Figura 10 - Tensões transitórias de referência

Considerando a relevância do trabalho descrito em [4], adotou-se como base as respectivas formas de onda, assumindo que as amplitudes das sobretensões podem ser tipicamente transferidas as unidades consumidoras, apesar da forte dependência com valores de aterramento impraticáveis em situações normais. Partindo-se como levantamento inicial da suportabilidade dielétrica de televisores frente a Impulso Atmosférico, foram realizados ensaios no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá - LAT/UNIFEI [6]. Os impulsos aplicados estão de acordo com as maiores sobretensões, ou seja, considerando resistências de aterramento do transformador de 160  $\Omega$ , 500  $\Omega$  e teoricamente infinito, as quais resultam em tensões de pico próximas a 4, 6 e 8 kV, respectivamente. Inicialmente as amostras das TV's foram conectadas a rede de baixa tensão, para verificação de sua operação sob condições normais. Aplicou-se um impulso de polaridade positiva de valor reduzido com o gerador de impulsos (HAEFELLY TRENCH), na conexão 1S/6P, para verificação e calibração da forma de onda do impulso, a título de futuras comparações e em conformidade com as tensões de referência. Após a verificação e calibração das sobretensões, foram aplicados 5 impulsos consecutivos com valores próximos a 4 kV e, entre cada aplicação, ligava-se o televisor para constatar o seu pleno funcionamento. O mesmo procedimento foi adotado para tensões de referência de 6 e 8 kV, repetindo-se as seqüências de cinco impulsos subsequentes. Entre as aplicações dos impulsos de diferentes valores e, após as aplicações finais de 8 kV, foram aplicados impulsos de valores reduzidos chamados intermediários, para verificação de possíveis discrepâncias e alterações das respostas. Na realização dos ensaios com sobretensões transitórias, pode-se observar que, cada aparelho teve aplicado aos seus terminais 30 impulsos. Preliminarmente foram realizados ensaios com o equipamento desenergizado da rede e, posteriormente procedeu-se no sentido de aplicar as seqüências de sobretensões impulsivas estando os televisores conectados a rede elétrica. Para tanto, o circuito de teste foi rearranjado de forma a prever isolamento adequada, sem comprometer os objetivos dos ensaios [6].

### Ensaio em TV's Novas

Os resultados a serem apresentados em termos dos 5 impulsos seqüenciais de referência são para a máxima magnitude, ou seja, valores próximos a 8 kV, bem como os de valores reduzidos, são relativos aos obtidos quando o equipamento sob teste se encontrava energizado simultaneamente pela rede, sendo que as amostras já tinham sido submetidas aos mesmos impulsos quando na condição a vazio (desenergizado). As figuras 11, 12 e 13 ilustram as seqüências da primeira a quinta aplicações de sobretensões nas três TV's novas, bem como as respostas ao impulso reduzido, inicial e final, a título de comparação entre os equipamentos.

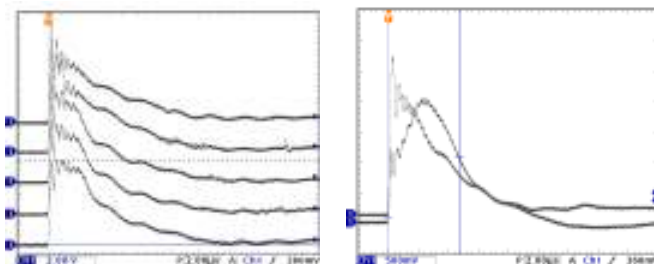


Figura 11 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 1-N)

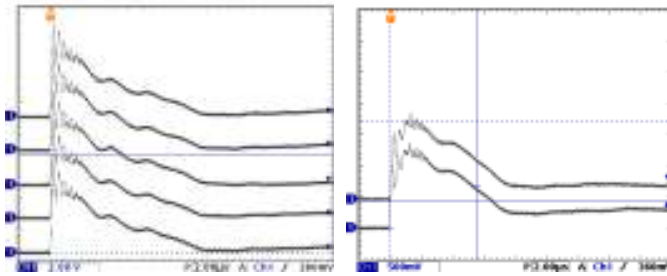


Figura 12 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 2-N)

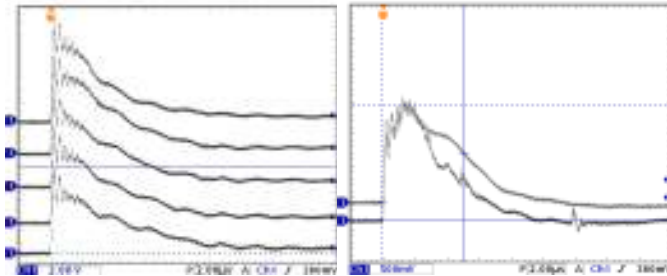


Figura 13 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's novas e respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 3-N)

Analisando-se os resultados em termos comparativos, as três TV's novas, apresentaram comportamentos distintos durante e após a aplicação de sobretensões. Verifica-se que a Amostra 2-N apresentou excelente comportamento, sem quaisquer mudanças significativas em termos de formas de onda. Aliás, na comparação com as amostras restantes, tem-se uma avaliação clara em termos de desempenho global, indicando um projeto adequado e a utilização provável de componentes com características tecnicamente interessantes frente às solicitações de sobretensões impulsivas.

#### Ensaio nas TV's Usadas

Seguindo as mesmas condições dos impulsos, considerados como referência, na condição a vazio e em carga, foram aplicadas sobretensões impulsivas de 4, 6 e 8 kV, em dois equipamentos com cerca de 10 anos de utilização, também de fabricantes distintos. Em uma das amostras não se tem o registro dos valores intermediários, com tensões reduzidas. Entretanto, este fato não comprometa a análise em termos de limites de operação. A figura 14 (a) mostra as respostas da primeira TV com determinado tempo de operação (Amostra 4-U) aos ensaios com tensões máximas de 8 kV, aplicadas por cinco vezes consecutivas, estando o equipamento conectado a rede de alimentação. Cabe lembrar novamente, as solicitações anteriores na condição a vazio, totalizando 30 aplicações por amostra, como no caso anterior. Já a figura 14 (b), ilustra as tensões durante o ensaio de 8 kV para a segunda amostra dos equipamentos usados, rotulada aqui de Amostra 5-U. Os resultados desta amostra, quando da aplicação de impulsos reduzidos no início e término dos ensaios das sobretensões impulsivas de 8 kV são mostrados na figura 15, na qual percebe-se uma alteração significativa do comportamento.

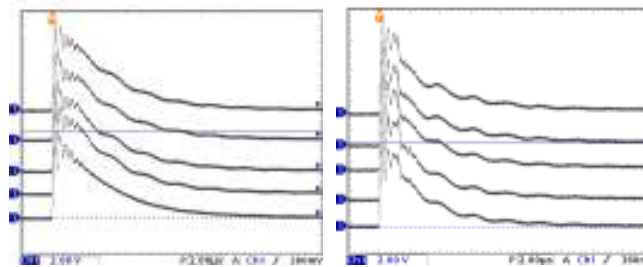


Figura 14 (a)

Figura 14 (b)

Figura 14 - Seqüência de sobretensões impulsivas de 8 kV aplicadas as Tv's usadas (a) - Amostra 4-U (b) - Amostra 5-U

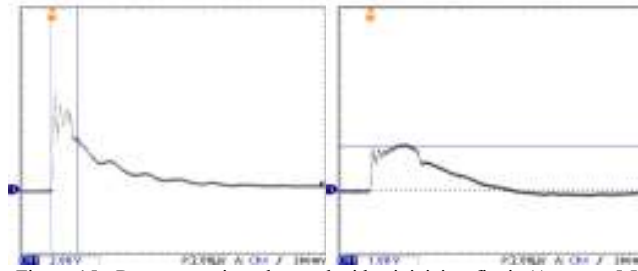


Figura 15 - Respostas a impulsos reduzidos iniciais e finais (Amostra 5-U)

## CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou fazer uma reflexão sob os aspectos envolvidos na problemática de ressarcimentos de equipamentos conectados a rede elétrica em função de possíveis avarias motivadas por sobretensões. Para tanto, descreveram-se as principais disposições apontadas em legislação específica sobre o tema. Visando fornecer subsídios e contribuição, foram apresentados os resultados de ensaios e sobretensões em equipamentos eletroeletrônicos, mais especificamente televisores, os quais sem dúvida apresentam as maiores ocorrências nos pedidos de ressarcimentos. Deste modo, foram levantados limites reais de operação em regime permanente, por meio de testes destrutivos, os quais indicaram, a priori, o componente determinante quando da ocorrência de falha permanente. Sob os ensaios de impulsos atmosféricos, conclui-se que para os níveis adotados, em nenhuma das aplicações foi observada a ocorrência de descargas internas e/ou externas, sendo que após todas as seqüências de solicitações de impulsos, os equipamentos sob teste (TV's), quando conectados novamente à rede, operaram de maneira adequada, sem quaisquer anormalidades, podendo-se afirmar que os limites de suportabilidade frente a sobretensões de origem atmosférica são superiores aos analisados e não foram violados durante os testes aqui apresentados. Ensaio similares com maior severidade e em outros eletro-eletrônicos, na busca dos reais limites estão em fase de execução, cujos resultados iniciais permitem dizer que os níveis de suportabilidade se mostraram maiores que os esperados.

Salienta-se para todos os agentes envolvidos, que não pode existir qualidade de energia sem instalação de qualidade e, sendo assim, o problema é dependente de modo conjunto. Torna-se imperativo seguir as prescrições das normas técnicas de instalações elétricas, as quais incluem uma solução técnica para o problema, no sentido de redução do número de ocorrências por meio da aplicação de sistemas de proteção dedicados (DPS). Outras regras igualmente relevantes também são estabelecidas na mesma norma, como o conceito de equipotencialização principal, necessário ao estabelecimento de condições adequadas de desempenho, justamente quanto aos fatores abordados e também em termos de segurança das instalações consumidoras. A conscientização de fabricantes, concessionárias, consumidores e do próprio órgão regulador, deveria ter consonância, de modo a esclarecer que o ônus do ressarcimento deve ser preferencialmente reduzido com alternativas técnica e economicamente viáveis para ambas as partes. Neste aspecto, a consulta das principais referências sobre o tema, bem como iniciativas já implantadas em nível mundial mostram alguns caminhos possíveis para o equacionamento do problema, com regras claras quanto as reais alternativas na busca pelo equilíbrio tão desejado entre consumidores e concessionárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Resolução N° 61 ANEEL, "Ressarcimento de Danos Elétricos em Equipamentos Elétricos Instalados em Unidades Consumidoras, Causados por Perturbação Ocorrida no Sistema Elétrico", 29 de Abril de 2004.
- Jucá, A. S., "Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação", Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), São Paulo, 2003.
- Souza, J. R. A., Cunha, J. G., Modena, J., "Contribuição Técnica - Audiência Pública N° 029 ANEEL", Brasília, Outubro de 2003.
- De Conti, A.R.; Pereira, C.; Visacro, S., "Qualidade de Energia: Práticas de Proteção dos Consumidores", IX ERLAC - Encontro Regional Latino Americano da Cigré, Foz do Iguaçu/PR, Maio de 2001.
- LAQUEE/UNIJUÍ - Relatório Técnico, "Resultados de Testes de Sobretensões em Regime na Operação de Equipamentos Eletro-Eletrônicos", Ijuí/RS, Agosto de 2003.
- LAT/UNIFEI - Relatório Técnico, "Suportabilidade Dielétrica de Televisores Frente a Impulso Atmosférico", Itajubá/MG, Outubro de 2003.