



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 10 7885
Tópico: Indicadores e Limites

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO E SUPTABILIDADE DE EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS FRENTE A SOLICITAÇÕES DE SOBRETENSÕES IMPULSIVAS

HERMES R.P.M. DE OLIVEIRA

NELSON C. DE JESUS

MANUEL L.B. MARTINEZ

AES SUL

AES SUL

UNIFEI

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise comparativa do desempenho de equipamentos eletro-eletrônicos frente a sobretensões impulsivas. Foram realizados diversos ensaios aplicando-se sobretensões com características típicas daquelas transferidas por meio do sistema de distribuição, em função de impulsos atmosféricos.

PALAVRAS-CHAVE

Sobretensões, Impulsos, Suportabilidade, Equipamentos Eletro-Eletrônicos.

1.0 INTRODUÇÃO

A qualidade de energia elétrica caracteriza-se como um dos temas mais atuais dentro das atividades correlatas para análise do desempenho dos sistemas elétricos, tornando-se os estudos necessários ao cotidiano de engenheiros, concessionárias e consumidores de um modo geral. Dentro deste contexto, a preocupação maior tem sido avaliar o desempenho de equipamentos considerados sensíveis e/ou perturbadores, principalmente os dotados de componentes e tecnologias recentes, frente às diversas variações nas tensões de fornecimento. A avaliação da operação de equipamentos eletro-eletrônicos 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. Sendo assim, sob o prisma de proteção e suportabilidade de equipamentos residenciais, o parâmetro de

sobretensões transitórias com caráter impulsivo, principalmente as provenientes de descargas atmosféricas, por meio de surtos transferidos quando da ocorrência de descargas diretas ou próximas à rede, caracteriza-se como um dos eventos causadores de danos na operação dos mesmos. O objetivo principal deste trabalho é realizar um levantamento e avaliação da suportabilidade de equipamentos submetidos a solicitações por sobretensões impulsivas, contribuindo em termos técnicos ao tema de danos elétricos em equipamentos instalados em unidades consumidoras. Inicialmente, propôs-se o levantamento da suportabilidade dielétrica dos diversos tipos de equipamentos residenciais, incluindo televisores, vídeos-cassete, DVD's e fontes de computadores, frente aos impulsos de origem atmosférica. Os ensaios englobaram equipamentos de marcas e tempo de vida útil distintos, permitindo neste caso uma análise comparativa quanto ao desempenho. Realizou-se, deste modo, cinco ensaios seqüenciais de sobretensões impulsivas em cada amostra desenergizada, com magnitudes crescentes na tensão de pico, com valores base de 4, 6 e 8 kV. Cabe salientar que os testes foram repetidos estando os equipamentos também conectados a rede de baixa tensão, totalizando, portanto, 30 aplicações subseqüentes de sobretensões transitórias. O resultado observado foi que a maioria absoluta dos equipamentos continuou a operar adequadamente quando novamente conectados a rede na alimentação com tensão nominal. Alguns testes foram estendidos no sentido de verificar os reais limites operacionais e, por conseguinte, observar os tipos de componentes que apresentaram danos quando solicitados por tensões impulsivas. Um detalhe importante é que as formas

de onda utilizadas são diferentes das padronizadas, mas assim foram propositadamente selecionadas por representarem mais adequadamente as características das sobretensões transferidas à rede de baixa tensão quando da atuação do sistema de proteção.

2.0 SOBRETENSÕES APLICADAS

A título de análise, adotou-se como base dos testes, os resultados obtidos em [1], onde se considera uma rede típica de distribuição em baixa tensão com a injeção de um impulso de corrente de 1 kA ($1.2 \times 50 \mu\text{s}$) em rede de média tensão com impedância de surto de 400Ω , em função da resistência de aterramento do transformador. Além disso, considerou-se o consumidor representado por 30Ω 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 $1000 \Omega\cdot\text{m}$, sendo desprezadas 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 ($\text{ZnO} - 12 \text{ kV}/10 \text{ kA}$). 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. Deste modo, em função da relevância do trabalho descrito em [1], adotou-se como base as respectivas formas de onda, como mostra a figura 1, 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.

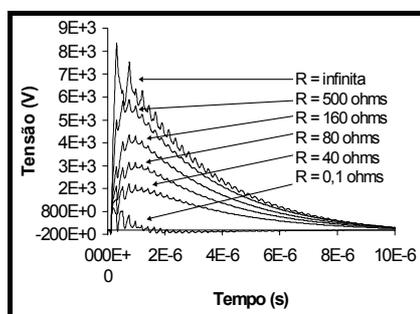


Figura 1 - Surtos atmosféricos transferidos da média tensão em função da resistência de aterramento do transformador [1]

3.0 METODOLOGIA E RESULTADOS

Partindo-se como levantamento inicial da suportabilidade dielétrica dos equipamentos frente a impulso atmosférico, foram realizados ensaios no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá - LAT/UNIFEI [2]. Os impulsos aplicados estão de acordo com as maiores sobretensões, ou seja, considerando resistências de aterramento do transformador de 160Ω , 500Ω e teoricamente infinito, as quais resultam em tensões de pico próximas a 4, 6 e 8 kV, respectivamente. Inicialmente, as amostras 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, ligavam-se os equipamentos 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 consecutivos. 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, no geral, 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 equipamentos conectados a rede elétrica. Para tanto, o circuito de teste foi rearranjado de forma a prever isolamento adequada, sem comprometer os objetivos dos ensaios [2]. Após os testes, os equipamentos que não vieram a sofrer "queimas" foram ligados à rede de energia elétrica para operação durante 10 horas consecutivas. Somente após a adoção desses procedimentos e, em não havendo problemas durante a operação, afirmou-se que estes não sofreram realmente a "queima". Para os equipamentos que vieram a sofrer "queima" durante os testes, procurou-se identificar os componentes que tiveram a sua função comprometida. A seguir, tem-se os principais resultados obtidos com a aplicação de

sobretensões impulsivas nos equipamentos sob teste.

3.1 Televisores

Para os ensaios a vazio e em carga realizados com as TVs coloridas, as amostras A-1, B-1 e C-1 referem-se a modelos novos, enquanto as amostras D-1, E-1 representam modelos com utilização entre 4 e 8 anos. As figuras 2 e 3 mostram as cinco aplicações de tensões com valor de 8 kV e os impulsos reduzidos obtidos durante o ensaio da amostra A-1. As figuras 4 e 5 ilustram os mesmos resultados em relação ao desempenho da amostra B-1.

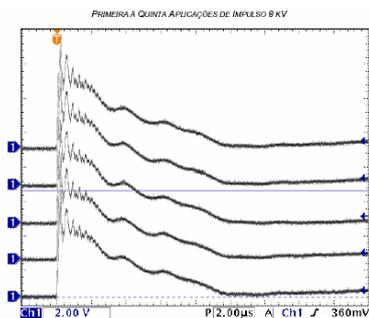


Figura 2 - Impulsos de 8 kV (A-1)

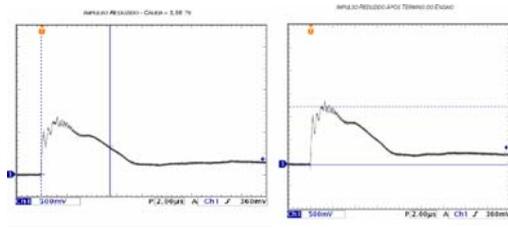


Figura 3 - Impulsos reduzidos (inicial e final A-1)

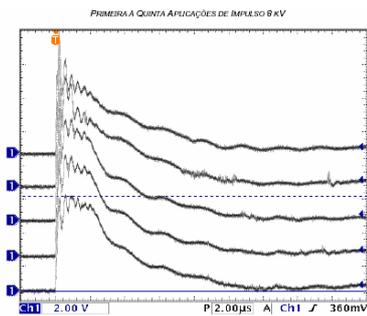


Figura 4 - Impulsos de 8 kV (B-1)

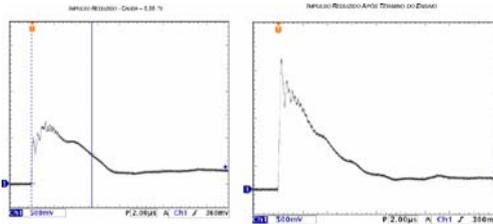


Figura 5 - Impulsos reduzidos (inicial e final B-1)

Como mostra a tabela 1, pode-se afirmar que todas as amostras suportaram a aplicação de 15 impulsos consecutivos a vazio e sob carga, considerando níveis de sobretensões de 4, 6 e 8 kV. Do ponto de vista das respostas aos impulsos reduzidos, a amostra A-1 foi a que apresentou resultados mais satisfatórios em relação ao ensaio com os aparelhos desenergizados, enquanto os demais modificaram a forma de onda ao impulso reduzido. Quanto ao comportamento das TVs nos ensaios com as mesmas energizadas, todas as amostras tiveram ótimo comportamento mantendo-se, praticamente inalteradas, as formas de onda relativa aos impulsos inicial e final. De qualquer modo, fica comprovado que sob as condições estabelecidas nestes testes, nenhum modelo falhou. Portanto, os limites de suportabilidade são superiores aos adotados como referência nos ensaios, sendo objeto de análise posterior.

Tabela 1 - Resumo dos testes em TV's

AMOSTRAS	IMPULSOS APLICADOS A VAZIO	IMPULSOS APLICADOS SOB CARGA	HOME QUEIMA
	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	
A1	FEQUENA	FEQUENA	NÃO
B1	ACENTUADA	FEQUENA	NÃO
C1	MÉDIA	FEQUENA	NÃO
D1	MÉDIA	FEQUENA	NÃO
E1	REGISTRADO AFENSIVO IMP. REDUZIDO INICIAL	REGISTRADO AFENSIVO IMP. REDUZIDO INICIAL	NÃO

3.2 Vídeo-cassete

Da mesma forma como nos testes em televisores, realizaram-se, num primeiro momento, testes aos impulsos elétricos considerando o vídeo-cassete desconectado da rede elétrica, todavia, com circuito de entrada apto à condução e, portanto, a verificação dos efeitos dos impulsos no circuito de entrada sob condições de tensão a vazio. As amostras A-2, B-2 e C-2 são vídeo-cassetes novos, enquanto as amostras D-2, E-2, F-2 e G-2 são equipamentos já usados. Os resultados apresentados a seguir são relativos às tensões de 8 kV seguida dos impulsos reduzidos no início e término dos testes a vazio, respectivamente para as amostras A-2 e D-2.

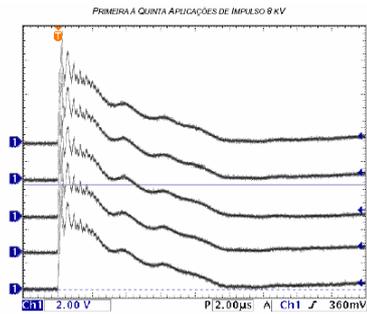


Figura 6 - Impulsos de 8 kV (A-2)

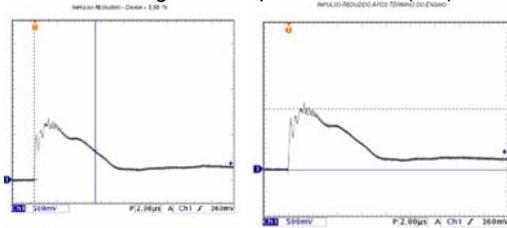


Figura 7 - Impulsos reduzidos (inicial e final A-2)

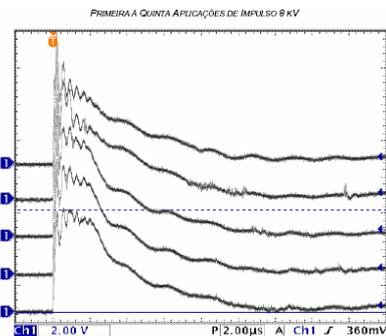


Figura 8 - Impulsos de 8 kV (D-2)

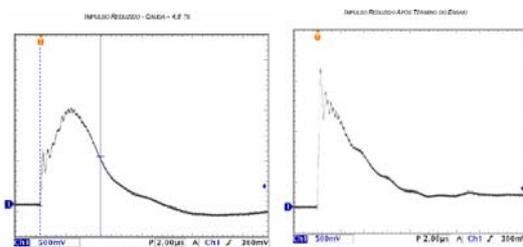


Figura 9 - Impulsos reduzidos (inicial e final D-2)

Os ensaios realizados com as sete amostras de vídeos-cassetes puderam verificar o bom desempenho de seis delas frente às solicitações impulsivas efetuadas nas duas condições, ou seja, a vazio e energizado. As unidades novas (amostras A-2, B-2 e C-2), não apenas não avariaram, como também, praticamente não sofreram alterações entre os impulsos reduzidos inicial e final. Das quatro unidades usadas, apenas uma “queimou” durante a quinta aplicação nos ensaios a vazio de 6kV, enquanto as outras três não sofreram avaria, embora algumas com alterações mais acentuadas entre

as formas de onda dos impulsos inicial e final. O quadro a seguir mostra um resumo dos resultados dos testes efetuados.

Tabela 2 - Resumo dos testes em vídeos-cassetes

AMOSTRAS	IMPULSOS APLICADOS A VAZIO	IMPULSOS APLICADOS SOB CARGA	HOUE QUEIMA
	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	
A-2	PEQUENA	PEQUENA	NÃO
B-2	PEQUENA	PEQUENA	NÃO
C-2	PEQUENA	PEQUENA	NÃO
D-2	ACENTUADA	PEQUENA	NÃO
E-2	ACENTUADA	PEQUENA	NÃO
F-2	NÃO PODE SER APLICADO O IMPULSO FINAL	NÃO PODE SER TESTADO SOB CARGA	SIM
G-2	MEDIA	ACENTUADA	NÃO

3.3 DVD

Diferente dos televisores e vídeos-cassetes, para os aparelhos de DVD, principalmente por se tratar de uma tecnologia relativamente recente, foram testados apenas unidades novas. Foram avaliados DVD's de três fabricantes diferentes, sendo que, de um deles, foram testados três equipamentos do mesmo modelo. As amostras testadas receberam as denominações A-3, B-3, C-3, D-3 e E-3. Seguindo a mesma análise, são apresentados os principais resultados obtidos junto as amostras B-3 e C-3, neste caso, para os testes sob carga, mostrados, respectivamente nas figuras 10, 11, 12 e 13.

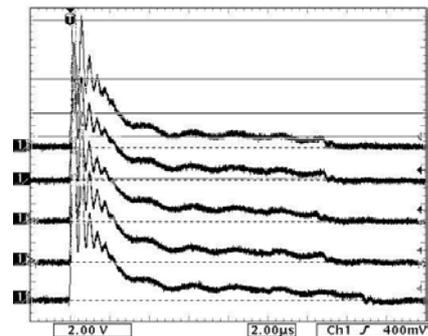


Figura 10 - Impulsos de 8 kV (B-3)

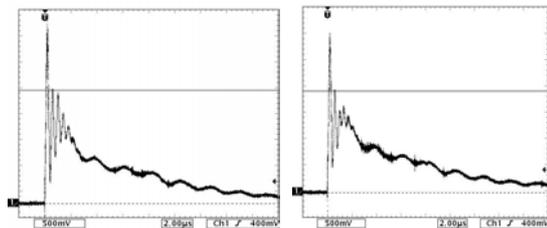


Figura 11 - Impulsos reduzidos (inicial e final B-3)

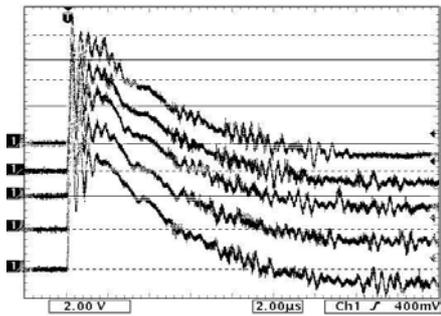


Figura 12 - Impulsos de 8 kV (C-3)

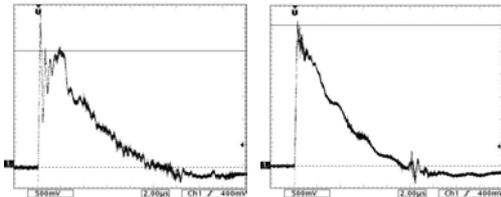


Figura 13 - Impulsos reduzidos (inicial e final C-3)

Os ensaios realizados com as cinco amostras de DVD's demonstraram que nenhuma delas apresentou "queima". Com relação às respostas aos impulsos reduzidos inicial e final, as duas primeiras amostras (A-3 e B-3) não apresentaram diferenças que merecessem destaque. As demais amostras (C-3, D-3 e E-3) apresentaram diferenças que podem ser classificadas como média e "acentuada", mas que não comprometeram a operação normal dos aparelhos. A tabela 3 apresenta um resumo das solicitações durante os testes impulsivos em DVD's.

Tabela 3 - Resumo dos testes em DVD's

AMOSTRAS	IMPULSOS APLICADOS A VAZIO	IMPULSOS APLICADOS SOB CARGA	HOUE QUEIMA
	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	
A-3	PEQUENA	MÉDIA	NÃO
B-3	MÉDIA	PEQUENA	NÃO
C-3	ACENTUADA	ACENTUADA	NÃO
D-3	MÉDIA	MÉDIA	NÃO
E-3	ACENTUADA	ACENTUADA	NÃO

3.4 Microcomputador (PC)

Foram testados dois microcomputadores, sendo um modelo novo e outro usado. Para este último, foram realizados testes a vazio e em carga, enquanto para o modelo novo foi realizado teste apenas com o equipamento ligado à rede de energia elétrica. Cabe lembrar que os testes em carga são aqueles que mais solicitam do equipamento. As amostras foram designadas como A-4 (modelo usado) e B-4 (modelo novo). Em ambos os casos, os equipamentos foram testados com regulador de tensão conectados as suas entradas. Os resultados obtidos para os microcomputadores são ilustrados como se segue.

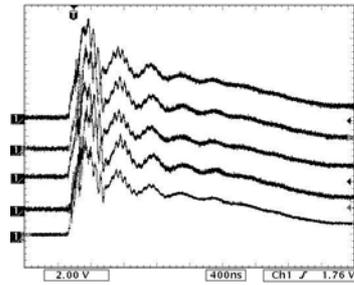


Figura 14 - Impulsos de 8 kV (A-4)

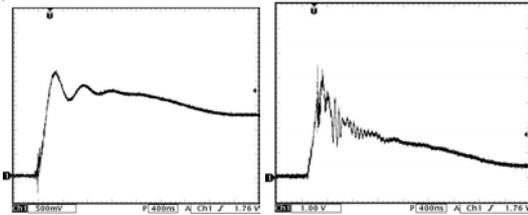


Figura 15 - Impulsos reduzidos (inicial e final A-4)

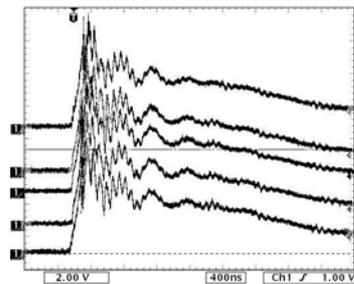


Figura 16 - Impulsos de 8 kV (B-4)

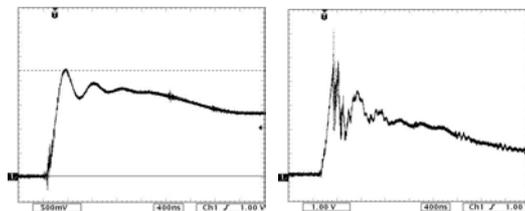


Figura 17 - Impulsos reduzidos (inicial e final B-4)

Resumidamente, pode-se afirmar que todas as duas amostras suportaram os testes realizados. A amostra A-4 (modelo usado) suportou a aplicação de 15 impulsos consecutivos a vazio e sob carga, considerando níveis de sobretensões de 4, 6 e 8 kV (total de 30 impulsos), enquanto a amostra A-4 (modelo novo), suportou 15 impulsos sob carga. Do ponto de vista das respostas aos impulsos reduzidos, a amostra A-4 foi a que apresentou resultados mais satisfatórios considerando o aparelho desenergizado, enquanto as demais respostas apresentaram acentuadas modificações. Entretanto, as duas unidades não sofreram avarias e operaram ininterruptamente por 10 horas após o término dos ensaios de sobretensões. A tabela 4 apresenta um resumo geral dos testes realizados nas amostras dos microcomputadores.

Tabela 4 - Resumo dos testes em PC's

AMOSTRAS	IMPULSOS APLICADOS A VAZIO	IMPULSOS APLICADOS SOB CARGA	HOVE QUEIMA
	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	ALTERAÇÕES NA RESPOSTA ENTRE OS IMPULSOS INICIAL E FINAL	
A-4	PEQUENA	ACENTUADA	NÃO
B-4	—	ACENTUADA	NÃO

4.0 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nos ensaios, obteve-se um levantamento dos níveis de imunidade quanto à operação dos equipamentos, os quais podem ser utilizados para correlação entre eventuais efeitos e causas, servindo como base a análise do impacto de distúrbios e perturbações na qualidade de energia. Especificamente neste caso, avaliaram-se os impactos de sobretensões impulsivas sobre a operação de equipamentos eletro-eletrônicos. A análise comparativa das respostas dos equipamentos durante os ensaios visa contribuir ao tema de ressarcimento de danos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, decorrentes dos efeitos de sobretensões transitórias e análise dos diversos sistemas empregados nos equipamentos sob teste [3], [4]. Deste modo, foram apresentados os resultados de testes de sobretensões impulsivas na operação de televisores, vídeo-cassetes, DVD's e microcomputadores. Os valores referem-se a níveis esperados em decorrência da transferência da média para a baixa tensão em sistemas aéreos de distribuição por meio do acoplamento efetuado pelo transformador de distribuição, principalmente em função da atuação dos pára-raios de proteção. De acordo com [1], foram aplicados impulsos de 4, 6 e 8 kV, respectivamente, valores esperados considerando resistências de aterramento do transformador de 160 Ω , 500 Ω e com valor infinito. Para cada um desses valores foram aplicadas seqüências de 5 impulsos, para estado desenergizado e energizado, totalizando assim, 30 impulsos em cada um dos equipamentos testados. De uma maneira geral, o desempenho de todos os equipamentos foi satisfatório. Apenas detectou-se, com a única queima de um dos vídeo-cassetes, que tecnologias mais antigas desses equipamentos possibilitam falha na sua fonte de entrada (em alguns de seus componentes), quando aplicados impulsos de 6 kV. Ensaios adicionais mostraram que os limites de suportabilidade são superiores aos esperados para os equipamentos eletrodomésticos sob

análise. Uma verificação importante foi que para todos os testes de sobretensões impostas, os impactos nos desempenhos dos equipamentos afetam principalmente os componentes das fontes de entrada, considerando o meio de propagação pelo sistema elétrico. Destaca-se a importância do levantamento e obtenção dos efeitos de sobretensões em equipamentos eletro-eletrônicos, para que as análises das solicitações sejam baseadas em critérios técnicos, como foi a proposta deste trabalho. As questões relacionadas aos possíveis danos e ressarcimentos de equipamentos em unidades consumidoras devem também considerar as reais necessidades de proteção localizada após o ponto de acoplamento comum, conforme prescreve a norma sobre instalações elétricas de baixa-tensão, citando os riscos e responsabilidades de cada agente quanto a sobretensões provenientes do fenômeno de descargas atmosféricas [5]. Na continuidade do trabalho, pretende-se verificar o desempenho com as formas de ondas padrão e também decorrentes de tensões induzidas em sistemas de distribuição de energia e nas próprias instalações dos consumidores.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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.
- [2] LAT/UNIFEI - Relatório Técnico, "Suportabilidade Dielétrica de Televisores Frente a Impulso Atmosférico", Itajubá/MG, Outubro de 2003.
- [3] Resolução N° 061 ANEEL, "Ressarcimento de Danos Elétricos em Equipamentos Elétricos Instalados em Unidades Consumidoras, Causados por Perturbação Ocorrida no Sistema Elétrico", 29 de Abril de 2004.
- [4] 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.
- [5] ABNT NBR 5410, "Instalações elétricas de baixa tensão", 2004.