

# Metodologia para Análise de Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos Incluindo Dispositivos Mitigadores

Jonmil M. Borges, Antônio C. Delaiba, José C. de Oliveira, Isaque N. Gondim, Carlos E. Tavares, Edécio A. Martins e Claudinei J. de Ávila

**Resumo** – Este artigo visa sintetizar os trabalhos relacionados com o desenvolvimento de um projeto de P&D direcionado para a área de pedidos de indenização por danos (PID), a partir de uma base computacional existente e advinda de projetos de P&D já realizados que culminaram numa versão de aplicativo computacional denominado por APR-2.0. As atividades atreladas com o presente artigo mostram o aprimoramento do produto anterior, os quais resultaram numa nova versão do programa, denominado por APR-3.0 (Analisador de Pedidos de Ressarcimento - versão CEMIG). Este simulador, comparativamente ao programa original oferece melhorias através de: desenvolvimento e inserção de curvas de suportabilidade dielétrica e térmica através de ensaios laboratoriais destrutivos de equipamentos eletroeletrônicos (Televisores, Aparelhos de Som e Microcomputadores); modelagem, implementação computacional e análise dos efeitos de dispositivos mitigadores contra surtos de tensão (DPS). Para ilustrar a potencialidade e aplicabilidade do software o programa é utilizado para estudos avaliativos de um PID envolvendo um dos equipamentos contemplados nos estudos.

**Palavras-chave** – Aplicativo computacional, PID's, modelagem, dispositivos mitigadores, ressarcimento de danos, suportabilidade de equipamentos, ensaios destrutivos.

## I. INTRODUÇÃO

O grande número de pedidos de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos e eletrônicos tem, nos últimos tempos, merecido a atenção das concessionárias de energia, agências de regulação, consumidores e outros órgãos governamentais. Tais preocupações estão associadas não apenas com os volumes financeiros envolvidos [1], mas, sobretudo, com os impactos sociais atrelados com solicitações, decisões, conflitos e outras questões que envolvem a relação entre as concessionárias de distribuição e seus consumidores. Por conseguinte, o tema, como um todo, vem motivando: investigações direcionadas à melhoria do processo de análise das questões em foco, domínio e difusão do conhe-

cimento da correlação entre os distúrbios e efeitos [2], [3], assim como o fornecimento de diretrizes para o oferecimento de produtos que possuam um maior nível de suportabilidade diante dos distúrbios típicos nas redes elétricas [4], [5], [6]. De fato, a primeira destas frentes aponta no sentido do estabelecimento de um processo avaliativo dos pedidos de indenização de forma justa e coesa; a segunda visa à obtenção de dados que esclareçam sobre a relação entre as solicitações térmicas e dielétricas sobre os equipamentos; e a terceira contempla aspectos relacionados com melhorias da fabricação dos diversos componentes presentes nas instalações residenciais, comerciais e industriais, bem como a utilização de dispositivos mitigadores para minimizar os efeitos associados aos possíveis distúrbios ocorridos nas redes elétricas.

Em se tratando da questão das correlações entre distúrbios manifestados nas redes de distribuição e efeitos danosos em produtos e, por conseguinte, da problemática vinculada com a controvérsia área designada por PID's, os processos de indenização passam, necessariamente, pela utilização de balizadores para orientar as análises. Neste particular ressaltam-se: os documentos produzidos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica); os procedimentos das empresas e; na experiência e no bom senso que norteiam as soluções de conflito. Não obstante a busca pela verdade, os métodos comumente utilizados não encontram, via de regra, sustentação em princípios científicos ou técnicos e, diante desta situação, muitas vezes ocorrem incompreensões e insatisfações quanto aos pareceres finais. Neste sentido, a busca por mecanismos fundamentados na ciência e tecnologia, que permitam conduzir, de forma isenta aos interesses individuais, à respostas consistentes, constituem em grandes metas a serem alcançadas.

Da argumentação anterior desprende a necessidade do desenvolvimento de procedimentos sistematizados, em que pese o equilíbrio entre o emprego de recursos computacionais baseados em procedimentos aceitos como adequados ao processo da reprodução de fenômenos anômalos, modelagens e cálculos fundamentados na teoria e em informações advindas de ensaios laboratoriais. Estes, uma vez combinados, podem produzir ferramentas confiáveis destinadas a balizar as decisões das concessionárias quanto aos pedidos de ressarcimento de danos. Assim agindo, acredita-se, serão viabilizados meios para minimizar os desgastes das empresas junto aos consumidores, e ainda, a quantidade e os altos custos associados com as demandas judiciais.

Dentro deste cenário, este artigo sintetiza os avanços e a-

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL, P&D 238 (Código Aneel 4950-021/2006), concluído em dez/2010.

Este trabalho foi apoiado técnica e financeiramente pela CEMIG - D - Uberlândia - MG, como parte integrante de seu programa de P&D.

J. C. Oliveira, A. C. Delaiba, I. N. Gondim e C. E. Tavares trabalham na 'Universidade Federal de Uberlândia' (e-mails: jcoliveira@ufu.br; delai-ba@ufu.br; gondim.isaque@gmail.com; carlosetavares@yahoo.com.br).

J. M. Borges, E. A. Martins e C. J. e Ávila trabalham na 'CEMIG-D' (e-mail: jonmil@cemig.com.br; edecio.martins@cemig.com.br e daxc-ja@cemig.com.br).

primoramentos de uma metodologia computacional alicerçada em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas dos equipamentos eletroeletrônicos, quando submetidos à ação de distúrbios na rede elétrica. Tais indicadores constituem-se nas bases para o estabelecimento de um processo comparativo entre causas e efeitos, quando então os fenômenos manifestados nas redes são correlacionados com os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise, conduzindo, por fim, a existência ou não do nexos causal associado com a solicitação sob análise.

Vale ressaltar que o trabalho em pauta se apresenta na forma de um avanço de uma linha de pesquisas do grupo proponente, o qual já realizou um expressivo número de trabalhos dentro do contexto do tema. De fato, projetos de P&D, teses, dissertações e inúmeros artigos já produzidos pelos pesquisadores podem ser detectados em várias referências, a exemplo de [7] e [8]. Esta última deixa latente que o produto final atingido se concretizou através de um aplicativo computacional denominado por APR (Analisador de Pedidos de Ressarcimento), o qual foi objeto de aprimoramentos e melhorias através das conquistas atingidas com o presente projeto de pesquisa firmado entre a CEMIG e a UFU. Comparativamente ao estágio original do mencionado programa, podem ser detectados os seguintes progressos: modelagem via testes destrutivos e implementação computacional de dispositivos supressores de surto (DPS's) e, obtenção e inserção computacional de novos padrões de suportabilidade dielétrica e térmica obtidos através de ensaios laboratoriais destrutivos em equipamentos eletroeletrônicos. Uma vez adicionados tais melhorias na versão original do aplicativo computacional obteve-se um produto com maior identificação com a realidade operacional e os problemas de campo, o qual, como já informado, foi resultante do projeto de pesquisa e desenvolvimento firmado com a CEMIG-D, e que recebeu a designação APR-3.0.

## II. CURVAS DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA

As publicações técnicas que correlacionam os níveis de suportabilidade dielétrica e a duração dos fenômenos elétricos para os distintos equipamentos empregados nas instalações residenciais, comerciais e industriais, recomendam um comportamento físico similar ao indicado pela figura 1. O eixo vertical, caracterizado pela função  $V(t)$ , denota a grandeza de interesse para este projeto, ou seja, a tensão admissível pelo equipamento.

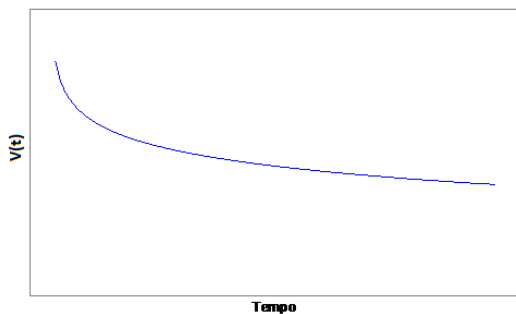


Figura 1. Curva típica para a suportabilidade dielétrica de um equipamento.

As formas típicas encontradas para as curvas de suportabilidade sugerem a utilização de funções logarítmicas para a

sua representação matemática, conforme equação (1).

$$V(t) = \alpha \cdot \log t + \beta \quad (1)$$

Onde:

$V(t)$  deve ser entendido como um valor de tensão admitido pelo equipamento durante um intervalo de tempo  $t$ .

A determinação dos coeficientes de (1) se fundamenta em informações sobre os níveis de tensão admissíveis em função dos respectivos tempos de duração. Nestes termos, conhecendo-se, por exemplo, os valores da função  $V(t)$  para dois instantes distintos,  $t_1$  e  $t_2$ , obtém-se para o primeiro segmento:

$$\alpha = \frac{Y(t_2) - Y(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad \text{e} \quad \beta = Y(t_1) - \alpha \cdot \log t_1 \quad (2)$$

Os demais segmentos seguem a mesma particularidade, utilizando-se de (1) com os seus coeficientes determinados em (2). Para a obtenção destes dados a estratégia empregada se fundamentou em ensaios experimentais nas dependências laboratoriais da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia e no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá. A metodologia, estrutura e procedimentos empregados podem ser consultados nos relatórios específicos deste projeto [9],[10] e [11], os quais, como já esclarecido, foram realizados para os seguintes produtos: televisor 20", televisor 29", aparelho de som e microcomputador com e sem estabilizadores de tensão.

### A. Sobretensões típicas em BT - frequência industrial

A montagem laboratorial empregada para a reprodução de fenômenos atrelados com sobretensões típicas encontradas nas redes elétricas, em proporções compatíveis com as elevações manifestadas na baixa tensão (BT) dos complexos elétricos é ilustrada na figura 2.

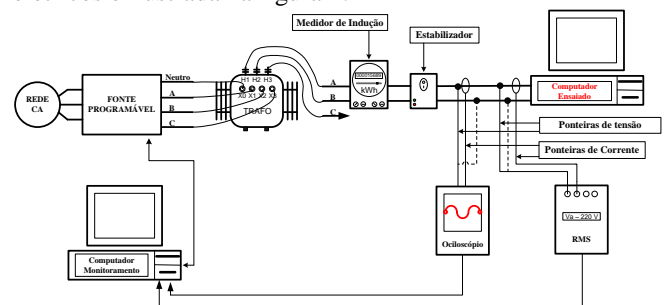


Figura 2. Arranjo laboratorial para realização de ensaios destrutivos relacionados com sobretensões à frequência industrial.

A figura 3 ilustra as formas de onda da tensão e corrente sob um determinado nível de sobretensão produzida pela estrutura experimental acima referida. Resultados como o apresentado fornecem as informações requeridas para a obtenção de um dos pontos necessários pela destacada curva de suportabilidade dielétrica. Como se constata, esta etapa dos trabalhos ficou restrita a valores de tensões de cerca de

duas vezes o valor da tensão nominal.

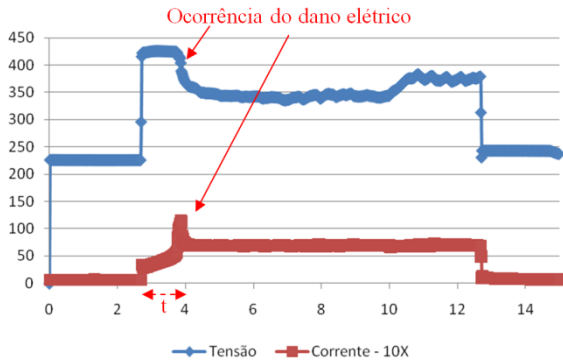


Figura 3. Perfil da tensão aplicada a um produto sob teste.

### B. Sobretensões associadas com a queda de cabos da média na baixa tensão

Um fenômeno considerado raro, mas que pode acontecer num sistema elétrico consiste na queda dos cabos da média tensão (MT) sobre a rede de baixa tensão (BT). Durante a ocorrência desse fenômeno, até que a proteção atue, as tensões nas fases da baixa tensão ficam com a mesma magnitude das tensões na média tensão. Buscando simular tal situação em ambiente laboratorial foi também empregada, nos termos apresentados na figura 4, a qual evidencia a possibilidade da aplicação de valores bastante elevados de tensão em 60 Hz.

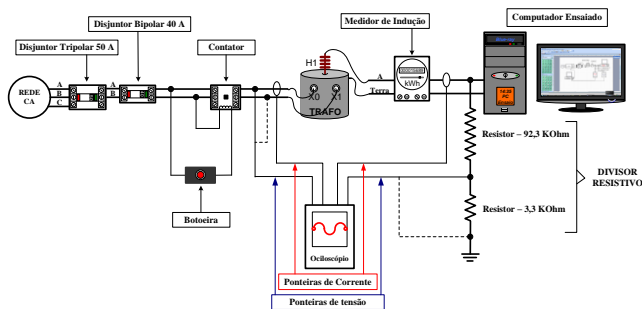


Figura 4. Montagem laboratorial para o ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa.

A figura 5 ilustra alguns detalhes sobre a montagem experimental indicada pela figura 4.



Figura 5. Detalhes da montagem laboratorial – ensaio de um televisor usado 20 polegadas.

### C. Transitórios impulsivos – associados com descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas correspondem a uma das principais causas de queimas de equipamentos eletroeletrônicos. Apesar do seu reduzido tempo de duração, cujo período crítico está na faixa de dezenas de microssegundos, este fenômeno apresenta um alto poder destrutivo devido a sua intensidade. Procurando reproduzir tais efeitos, foram realizados diversos ensaios de transitório impulsivo objetivando a obtenção de outras informações para as curvas de suportabilidade de tensão.

A estrutura clássica encontrada em laboratórios destinados a reprodução dos fenômenos associados com descargas atmosféricas corresponde àquela indicada na figura 6.

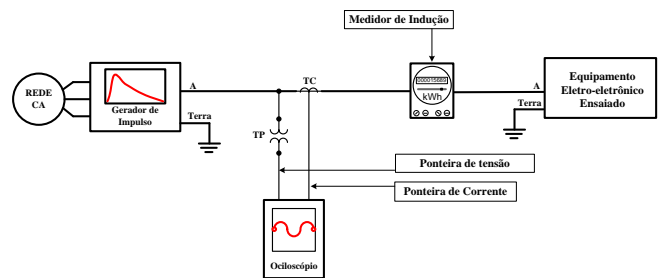


Figura 6. Estrutura laboratorial para reprodução de fenômenos associados com descargas atmosféricas.

A figura 7 mostra os componentes básicos quando da realização dos ensaios em pautas.



Figura 7. Ilustração da estrutura do laboratório para ensaios de transitórios impulsivos.

### D. Síntese dos limites de tensão para os equipamentos testados

Em consonância com as estruturas mencionadas anteriormente e os diversos equipamentos testados, foram obtidos os limites destrutivos de tensão constantes na tabela I, os quais, como esclarecido, constituem-se nas informações necessárias ao estabelecimento das curvas de suportabilidade dielétrica para os produtos sob investigação.

Tabela I – Síntese dos resultados laboratoriais – Tensões limites

Equipamento	Ensaio	Tensão (V)	Duração (s)
Televisor 20"	Sobretensão na BT - Frequência Industrial	440	0,78
Televisor 20"	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	600	0,1
Televisor 20"	Transitório Impulsivo de Tensão	3862,0	6,76 $\mu$
Televisor 29"	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	1600,0	0,11
Televisor 29"	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	600,0	0,23
Televisor 29"	Transitório Impulsivo de Tensão	4136,3	11,10 $\mu$
Aparelho de Som	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	2000	0,250
Aparelho de Som	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	2400	0,1
Aparelho de Som	Transitório Impulsivo de Tensão	3436,5	10,71 $\mu$
Microcomputador com estabilizador	Sobretensão na BT - Frequência Industrial	440	0,5
Microcomputador com estabilizador	Sobretensão devido a queda de cabo MT na BT- Frequência Industrial	2000	0,12
Microcomputador com estabilizador	Transitório Impulsivo de Tensão	4304,24	17,72 $\mu$
Microcomputador sem estabilizador	Sobretensão na BT - Frequência Industrial	396	4,8
Microcomputador sem estabilizador	Transitório Impulsivo de Tensão	3747,55	12,67 $\mu$

Com base nas informações obtidas e os procedimentos já mencionados obteve-se, por fim, as curvas de suportabilidade dielétrica para os equipamentos em foco, conforme figuras 8,9,10,11 e 12.

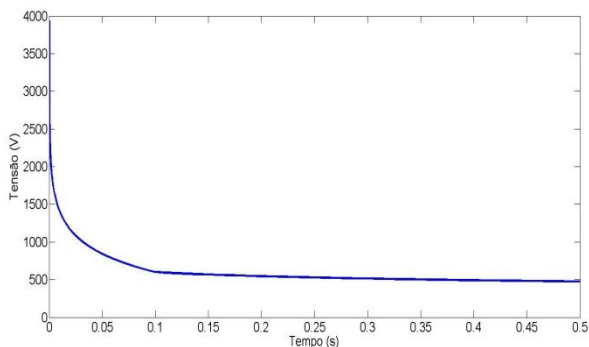


Figura 8. Curva de suportabilidade dielétrica do televisor 20"

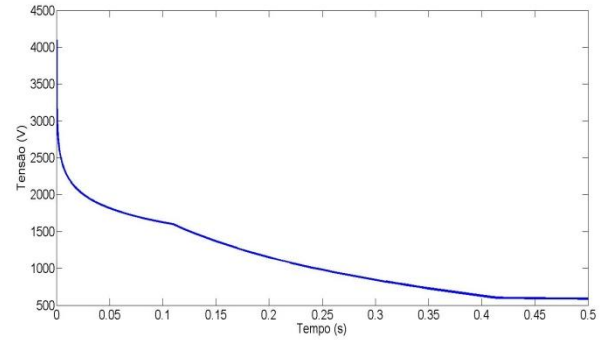


Figura 9. Curva de suportabilidade dielétrica do televisor 29"

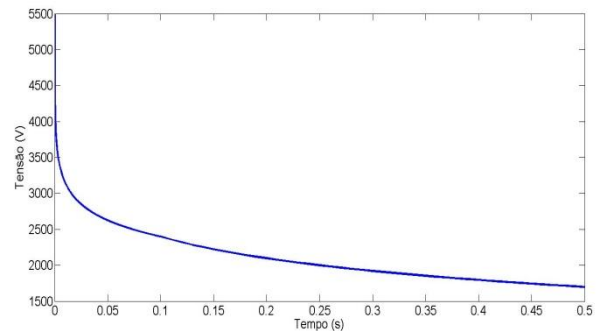


Figura 10. Curva de suportabilidade dielétrica do aparelho de som

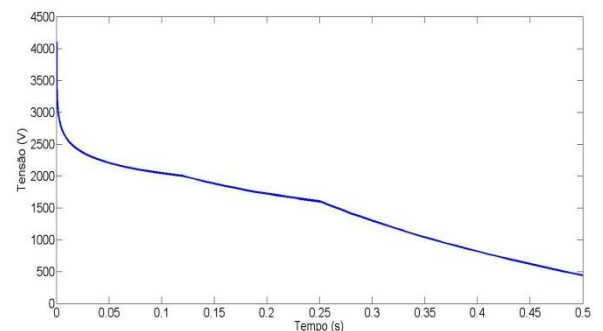


Figura 11. Curva de suportabilidade dielétrica do microcomputador com estabilizador

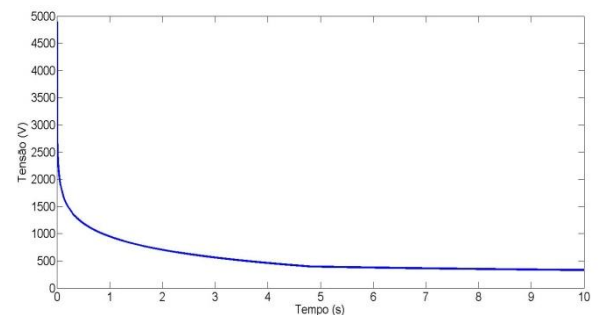


Figura 12. Curva de suportabilidade dielétrica do microcomputador sem estabilizador

### III. CURVAS DE SUPORTABILIDADE TÉRMICA

Os fundamentos físicos utilizados para a obtenção dos limites térmicos traduzidos na forma das respectivas curvas da suportabilidade, como não poderia ser diferente, encontra sustentação no conceito da energia ( $I^2t$ ) dissipada e permitida pelos componentes que perfazem as partes mais sensíveis dos dispositivos. Assim, para os estudos contemplados neste trabalho primou-se pelo princípio da constância da energia

térmica máxima admissível pelos equipamentos, como determina a equação (3).

$$\int_0^{T_D} i^2(t) \cdot dt = I^2 t = J = cte \quad (3)$$

Sendo:

$i(t)$  – valor instantâneo da corrente;

$T_D$  – intervalo de tempo durante o qual o equipamento foi submetido ao esforço de corrente e que resultou numa energia que atingiu o seu limite térmico de suportabilidade;

$J$  – Energia máxima admitida pelo equipamento, considerado constante para qualquer período ou intervalo de tempo de exposição.

A figura 13 mostra didaticamente o conceito supra referido.

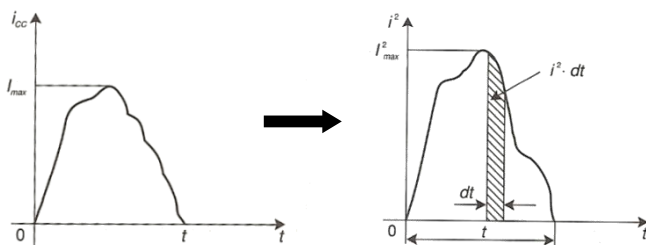


Figura 13. Definição da Integral de Joule.

Uma vez conhecido o valor da energia máxima admissível pelo equipamento, sua respectiva curva de suportabilidade térmica pode ser facilmente obtida empregando-se a equação (3) aplicada para distintos intervalos de tempo, fato este que pode ser facilmente interpretado através das equações (4) e (5).

$$J = I^2 t \quad (4)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (5)$$

Assim agindo, torna-se possível obter a procurada curva de suportabilidade térmica nos termos requeridos, como indicado na figura 14.

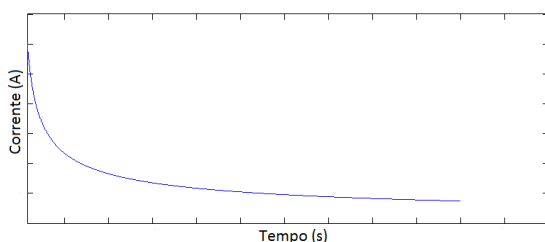


Figura 14. Curva de Suportabilidade Térmica

Tomando-se como base a fundamentação teórica apresentada, a estratégia empregada apoiou-se na realização de ensaios destrutivos com a aplicação de impulsos típicos de corrente padrão (8/20µs), conforme ilustrado na figura 15.

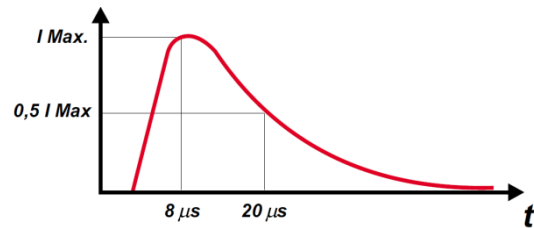


Figura 15. Forma de onda empregada para a obtenção da energia dissipada máxima admissível pelos equipamentos.

A figura 16 exemplifica a metodologia em pauta. Nesta é possível determinar a máxima energia suportada pelo eletro-eletrônico, a qual pode ser calculada nos termos previstos pela equação (3), ou seja, integrando-se a área compreendida deste o instante identificado pelo início da incidência da descarga até a manifestação dos danos físicos registrados para o produto sob análise.

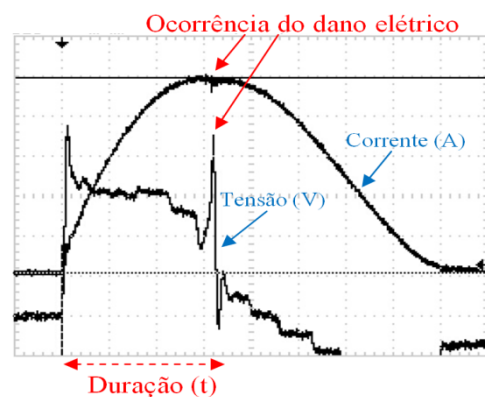


Figura 16. Resultado do ensaio destrutivo sob impulso atmosférico.

O arranjo experimental empregado é sintetizado através da figura 17.

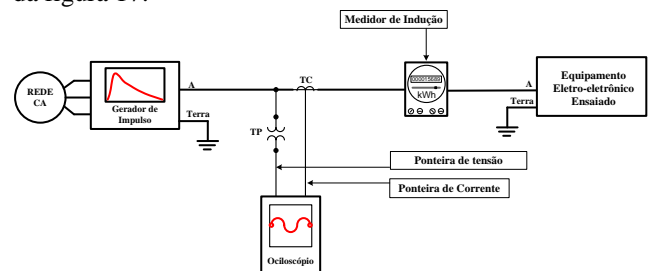


Figura 17. Estrutura laboratorial empregada para o levantamento dos limites térmicos dos equipamentos.

A tabela II fornece os resultados obtidos para cada um dos produtos submetidos aos ensaios supra mencionados.

Tabela II – Síntese dos resultados laboratoriais – valores limites de energia

Equipamento	Corrente I <sub>pico</sub> (A) 8x20µs	Duração t(µs)	Energia J(A <sup>2</sup> . s)
Televisor 20"	3020	6,76	20,56
Televisor 29"	2780	12,00	55,62
Aparelho de Som	3560	10,71	69,69
Microcomputador com estabilizador	3420	12,43	84,63
Microcomputador sem estabilizador	3020	12,67	67,72



De acordo com os procedimentos descritos, os resultados anteriormente obtidos conduziram, por fim, às curvas que expressam os limites de suportabilidade de corrente para os distintos produtos testados. Estas encontram-se fornecidas através das figuras 18,19,20,21 e 22

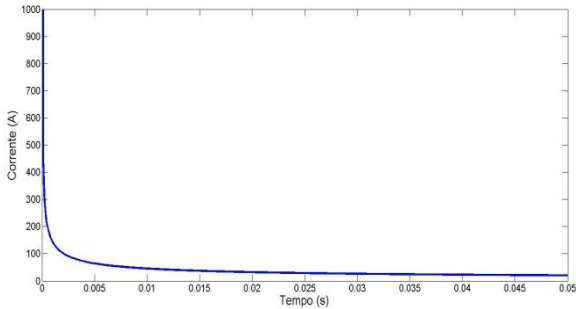


Figura 18. Curva de suportabilidade térmica do televisor 20''

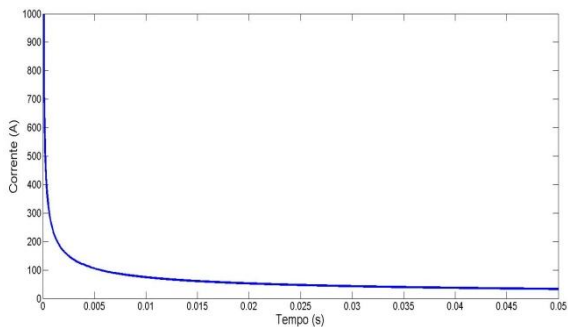


Figura 19. Curva de suportabilidade térmica do televisor 29''

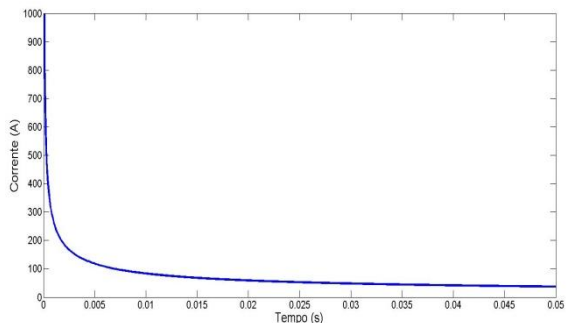


Figura 20. Curva de suportabilidade térmica do aparelho de som

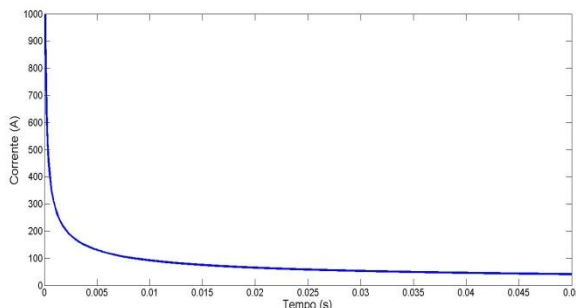


Figura 21. Curva de suportabilidade térmica do microcomputador com estabilizador

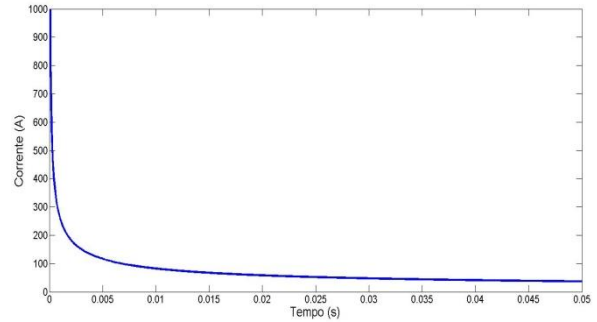


Figura 22. Curva de suportabilidade térmica do microcomputador sem estabilizador

As curvas assim obtidas e que refletem os limites de suportabilidade dielétricos e térmicos são aquelas inseridas e agora disponibilizadas na nova versão do aplicativo computacional para Análise de Pedidos de Ressarcimento, ou seja, o APR-3.0.

#### IV. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS (DPS'S)

Os dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) são componentes não lineares que, como estabelecido em suas concepções físicas, devem oferecer um caminho de baixa impedância quando da ocorrência de níveis de tensão acima dos valores previstos em seu projeto. Para se atingir tais propriedades pode-se, por exemplo, empregar na composição deste equipamento de proteção um varistor de óxido de zinco associado a um dispositivo de segurança. Este varistor permite a passagem de corrente quando a tensão em seus terminais ultrapassa a tensão limite, garantindo, desta forma, uma tensão de saída de valor inferior ao nível de proteção do dispositivo mitigador. Esta característica operativa pode ser visualizada na figura 23, a qual ilustra o funcionamento de um DPS típico. Observa-se que, para um transitório impulsivo de 4 kV de pico, o dispositivo entra em operação limitando a tensão em 800 volts na entrada de alimentação do equipamento protegido e, nestas condições, muito provavelmente, o equipamento protegido não sofrerá solicitações acima de sua suportabilidade.

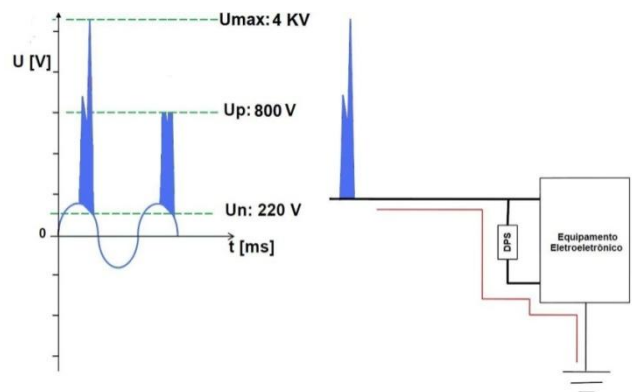


Figura 23. Exemplo de funcionamento do DPS.

### A. Estratégia para a modelagem do DPS e implementação no simulador ATP

O programa ATP (Alternative Transients Program) tem-se mostrado uma ferramenta de grande aceitação no setor elétrico para estudos e análises de fenômenos transitórios. Tendo em mente que tal ferramenta será empregada para os fins aqui almejados, a modelagem de um DPS, nos termos já classicamente empregados pelo citado simulador, os desafios consistem, essencialmente, na obtenção de informações que permitam correlacionar suas curvas de tensão versus corrente. Tais dados não são de difícil acesso até porque os equipamentos comerciais, como aquele indicado na figura 24 (a), normalmente se apresenta com suas respectivas curvas V/I (figura b). Diante desta facilidade, a figura 24 (c) ilustra o modelo computacional equivalente deste dispositivo, devidamente implementado através do recurso conhecido por ATPDraw.

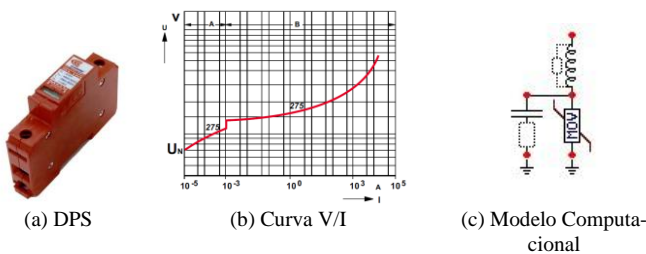


Figura 24. Modelagem computacional do DPS.

Visando avaliar o desempenho deste dispositivo foram realizadas diversas simulações. A título de exemplificação, os resultados ilustrados nas figuras 25 (a) e (b) evidenciam o comportamento do DPS sob a ação de um impulso de corrente de 2500A aplicado em um aparelho televisão. Os detalhes da modelagem e validação computacional podem ser obtidos na referência [11]. A figura 25(a) corresponde a tensão e corrente na entrada do referido eletroeletrônico sem o DPS, enquanto a figura 25(b) apresenta as mesmas grandezas, contudo, com o DPS protegendo o equipamento. Para ressaltar a atuação do DPS, escalas diferentes foram adotadas para as figuras, sendo de 10kV/divisão na figura 25(a), enquanto que na figura 25(b) a escala foi de 250V/divisão. Como pode ser constatado, o DPS eliminou os elevados valores atingidos pela tensão e corrente, eliminando o risco de danos ao produto sob estudo.

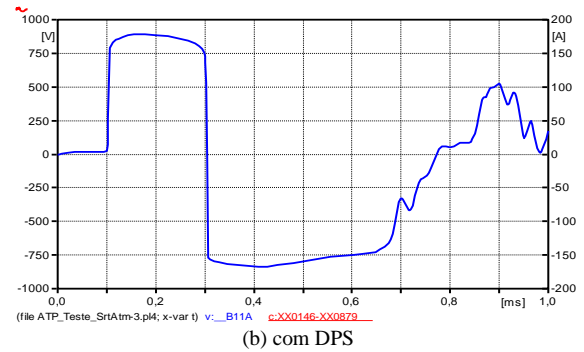
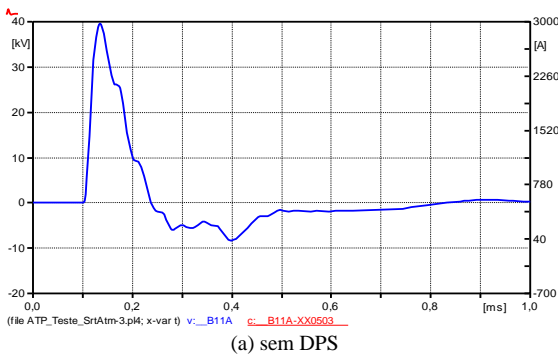


Figura 25. Tensão e corrente na entrada do televisor.

### B. Ensaios Laboratoriais do DPS

Objetivando avaliar, experimentalmente, o comportamento do DPS diante de um impulso de corrente aplicado e o nível de proteção que o mesmo oferece aos equipamentos eletroeletrônicos conectados à rede elétrica, foram realizados ensaios no já mencionado laboratório de alta tensão. Utilizando, pois deste recurso foram aplicados impulsos de tensão padrão (1,2/50 $\mu$ s) apenas no dispositivo mitigador. Os resultados obtidos se mostraram em total consonância com os valores fornecidos pelo fabricante. Numa segunda etapa, através de um gerador de impulso de corrente padrão (8x20  $\mu$ s), foram conduzidos ensaios empregando-se os eletrodomésticos supridos através de um arranjo similar ao existente num ramal elétrico real, com os produtos protegidos pelo DPS e na ausência deste dispositivo de proteção. A figura 26 ilustra o arranjo laboratorial empregado.

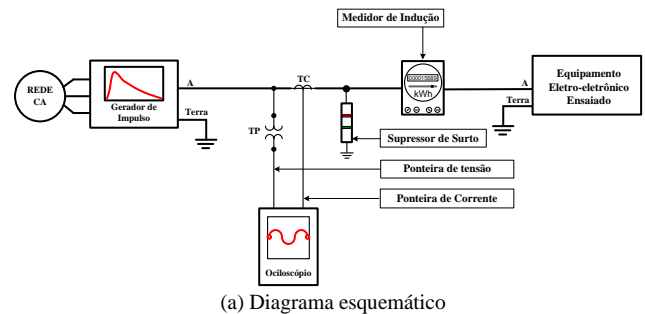


Figura 26. Arranjo laboratorial para o ensaio de impulso visando avaliar o desempenho do DPS.

Após a realização de vários ensaios com a inserção do DPS constatou-se que o mesmo produziu o efeito desejado, ou seja, não houve qualquer dano aos equipamentos testados. Todavia, na ausência do DPS, observou-se que todos os equipamentos testados sofreram danos em sua estrutura física, como documentado em [10].

### V. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO APR-3.0

Objetivando ilustrar os recursos computacionais obtidos com os desenvolvimentos desta pesquisa, empregando-se o aplicativo final foram conduzidos trabalhos investigativos sobre um caso de pedido de indenização por danos, e, concomitantemente, elucidar o efetivo desempenho do DPS neste contexto. No que tange ao APR-3.0, propriamente dito, maiores informações sobre este software podem ser encontradas em [7], [8], [9] e [10].

O caso sob análise corresponde a um pedido de ressarcimento devido a danos ocorridos em um aparelho televisão, o qual, em tese, estaria associado com uma descarga atmosférica no alimentador que atende o cliente. A figura 27 mostra a representação do diagrama unifilar do consumidor em pauta, o qual foi devidamente modelado no programa de análise.

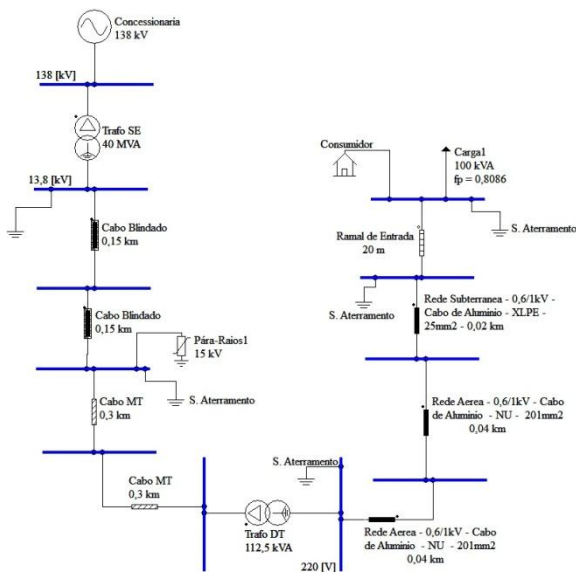


Figura 27 - Exemplo de aplicação do APR-3.0.

Os parâmetros elétricos representativos da rede de distribuição aqui contemplada são fornecidos nas Tabelas III a VII.

Tabela III. Parâmetros da fonte de tensão

Parâmetro	Valor
Tensão (kV)	138,0
Nível de curto-circuito trifásico (kVA)	3705∠0,0042°

Tabela IV. Parâmetros do transformador SE

Parâmetro	Valor
Tensões primário/secundário (kV)	138,0/13,8
Potência (MVA)	40
Reatância indutiva (%)	20,9
Resistência (%)	3,7

Tabela V. Parâmetros do transformador DT

Parâmetro	Valor
Tensões primário/secundário (kV)	13,8/0,22
Potência (kVA)	112,5
Reatância indutiva (%)	3,217
Resistência (%)	1,378

Tabela VI. Parâmetros dos cabos

Cabo	Resistência Elétrica (Ω/km)	Reatância Indutiva (Ω/km)
Blindado	0,4836	0,4271
MT – Alumínio sem Alma - 201 mm <sup>2</sup>	0,2335	0,8842
BT – Rede Aérea – Alumínio – NU – 201 mm <sup>2</sup>	0,2305	0,8822
BT – Rede Subterrânea – Alumínio – XLPE – 25 mm <sup>2</sup>	1,5378	0,9669
Ramal de Entrada	2,19	0,13

Tabela VII. Parâmetros da carga

Carga	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)
Carga 1	80,86	60,5884

A figura 28 evidencia as opções disponíveis pelo programa quanto ao tipo de produto factível de avaliação e a seleção do equipamento envolvido no presente processo de análise (televisão).

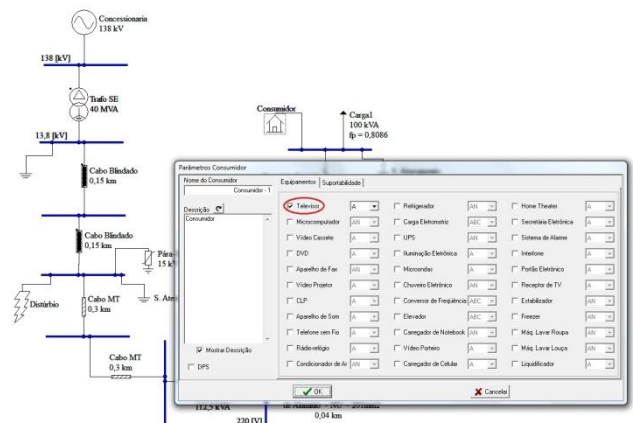


Figura 28. Opções de equipamentos para o processo de análise e seleção do televisor.



Uma vez definida a rede e o equipamento objeto da investigação, procede-se a escolha das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica a serem utilizadas como limites para as solicitações de tensão e corrente que o equipamento suportaria. Dentre as disponibilidades do aplicativo, a figura 29 ilustra a escolha das curvas CEMIG aqui obtidas e inseridas no programa.

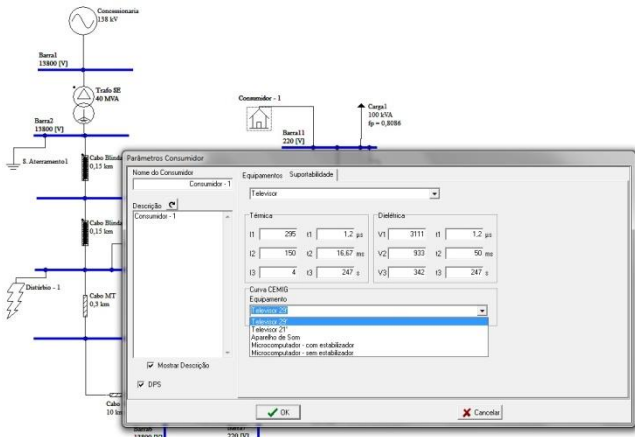


Figura 29. Seleção das Curvas de Suportabilidade do Televisor.

Tendo em vista que o suposto distúrbio responsável pela ocorrência seria uma descarga atmosférica, a figura 30 mostra a forma disponibilizada pelo programa para configurar e parametrizar um impulso de corrente (8/20 $\mu$ s) de 50 kA no aplicativo APR. Como pode ser observado, a incidência da descarga foi atribuída como ocorrida para uma das barras de 13,8 kV.

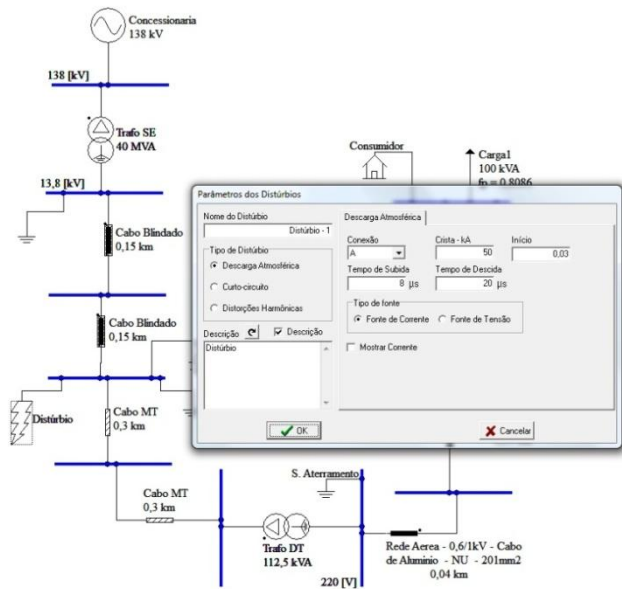


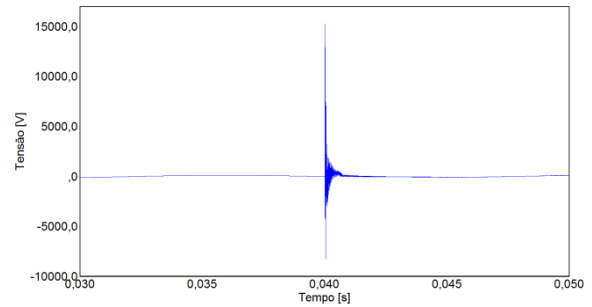
Figura 30. Configuração do impulso de corrente.

Tendo-se inserido todas as informações requeridas pelo Aplicativo APR-3.0, procede-se então ao estudo propriamente dito. Isto é feito objetivando-se determinar:

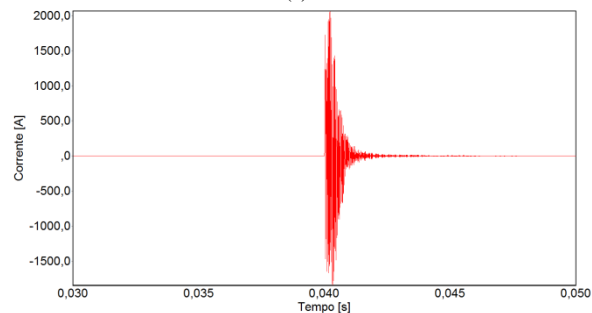
- As tensões manifestadas em qualquer ponto do sistema elétrico e, de modo especial, nos terminais do equipamento sob avaliação;
- As correntes em qualquer ponto do sistema e, de modo particular, na entrada do equipamento sob análise;

- As solicitações dielétrica e térmica impostas aos terminais de alimentação do equipamento sob investigação, as quais são confrontadas com os limites adotados para as suportabilidade de tensão e corrente.

As figuras 31 (a) e (b) mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas no ponto de conexão do televisor com a rede de distribuição. Esta situação operacional foi estudada sem a presença do DPS.



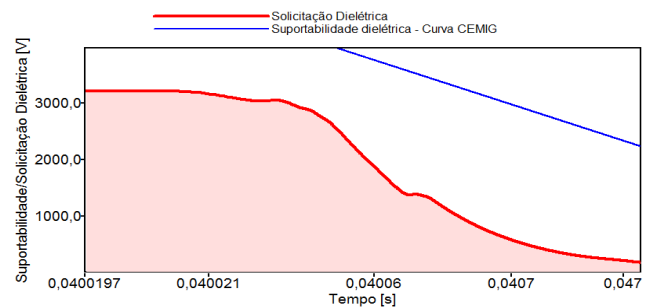
(a) Tensão



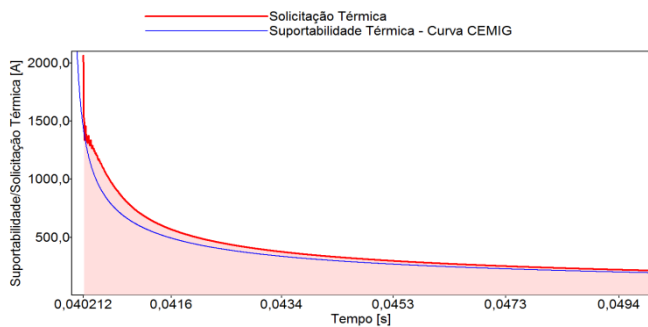
(b) Corrente

Figura 31. Formas de onda na entrada de alimentação do televisor sob uma descarga atmosférica - sem DPS.

Objetivando associar os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio com as curvas de suportabilidade térmica do televisor, o APR produz o resultado final apresentado nas figuras 32(a) e (b). Estas evidenciam que, sob o ponto de vista das solicitações de tensão, não há indícios de violação dos limites preconizados. Não obstante a isto, no que se refere às questões térmicas, há indicativos que o fenômeno em questão possui propriedades capazes de produzir danos sobre o produto analisado, isto é, o nex causal se faz presente para a solicitação feita pelo consumidor.



(a) Suportabilidade Dielétrica



(b) Suportabilidade Térmica

Figura 32 - Análise comparativa da solicitação térmica diante dos níveis de suportabilidade do aparelho televisor - sem o DPS.

Diante do ocorrido fica então a questão se a inserção do DPS poderia resultar num esforço dielétrico ou térmico inferior aos correspondentes padrões de suportabilidade. Para responder a esta indagação foram conduzidos estudos complementares através da inserção de um DPS no ponto de conexão do consumidor à rede de suprimento. O mecanismo utilizado para tanto consiste, como indicado na figura 33, em habilitar o campo específico para o DPS.

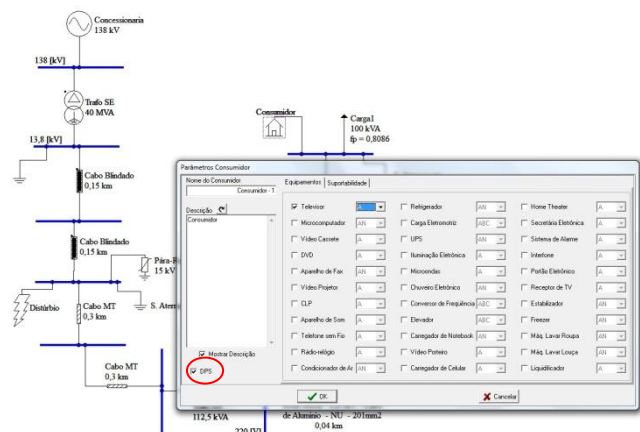
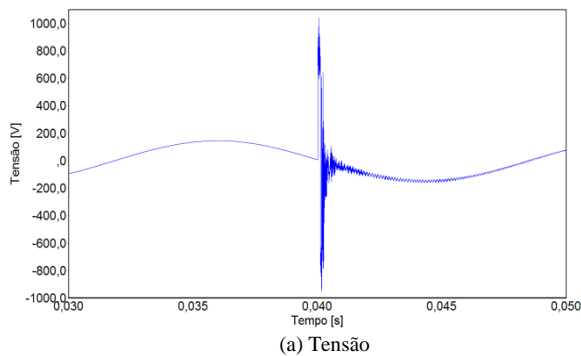
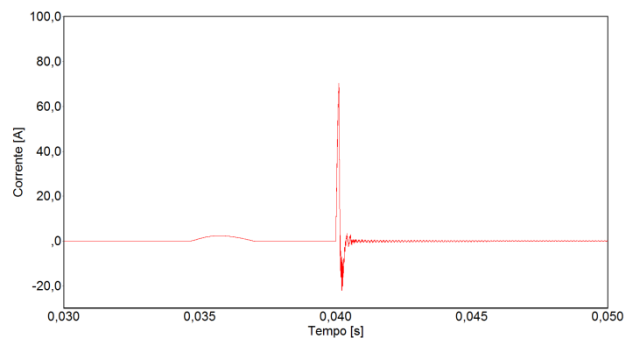


Figura 33. Rede de distribuição modelada no aplicativo APR, considerando a conexão do DPS.

Sob a nova situação têm-se os resultados para a tensão e corrente indicados pelas figuras 34 (a) e (b), as quais evidenciam as mencionadas grandezas elétricas junto aos terminais de suprimento do equipamento em foco.



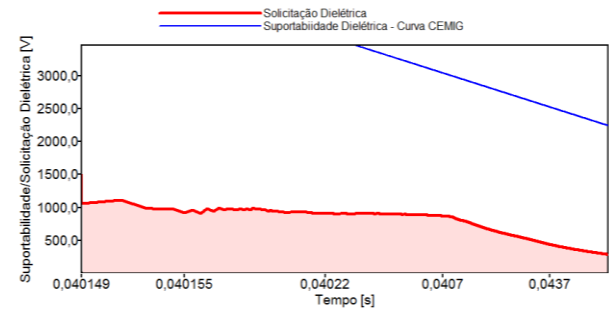
(a) Tensão



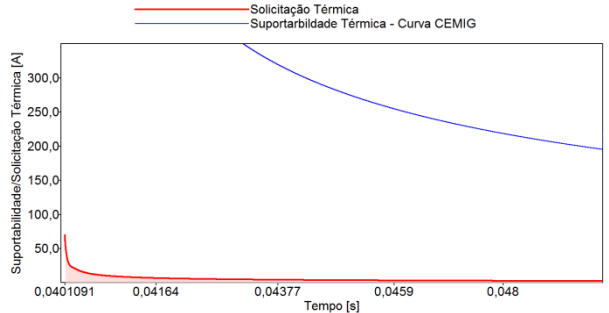
(b) Corrente

Figura 34. Formas de onda na entrada de alimentação do televisor sob uma descarga atmosférica - com DPS.

Similarmente ao procedimento anterior, o qual encontra-se centrado na comparação entre os esforços impactantes e os padrões de suportabilidade, tem-se o resultado mostrado na figura 35(a) e (b), o qual representa a análise dielétrica e térmica advinda da tensão e corrente manifestada no equipamento e sua respectiva tolerância.



(a) Suportabilidade Dielétrica



(b) Suportabilidade Térmica

Figura 35. Análise comparativa da solicitação térmica diante dos níveis de suportabilidade do aparelho televisor - com o DPS.

Através da figura 35 pode-se concluir que, diferentemente da situação anterior, não há violação dos níveis de corrente admissíveis pelo televisor. Portanto, no que tange às questões térmicas pode-se verificar que os indicativos são desfavoráveis a existência do nexos causal. Portanto, à luz destes novos resultados, se esta fosse a situação real, o aparelho televisor não teria sido objeto de danos em sua estrutura física, fato este que ratifica e eficácia do DPS para a proteção do produto.

## VI. CONCLUSÕES

O presente artigo contemplou os resultados de desenvolvimentos e melhorias promovidas num aplicativo computacional existente e destinado à realização de análises e pareceres sobre os nexos causais atrelados com pedidos de ressarcimentos por danos em equipamentos, os quais, supostamente, estariam vinculados com distúrbios manifestados nas redes elétricas de distribuição. Dentro destes princípios, utilizando um software originalmente designado por APR-2.0 foram inseridos aspectos altamente relevante para se atingir uma maior segurança, confiabilidade, precisão e identidade com os problemas e condições encontradas nas redes elétricas típicas. Estas melhorias, devidamente esclarecidas no corpo do trabalho, culminaram numa ferramenta mais avançada aos propósitos de análise, originando, assim, o que se denominou por Aplicativo APR-3.0 (Analisador de Pedidos de Ressarcimento – versão 03).

De modo pontual, ressalta-se que o novo produto apresenta melhorias em relação aos anteriores na forma da disponibilização de uma nova biblioteca contendo curvas de suportabilidade térmicas e dielétricas que foram extraídas de vários testes destrutivos conduzidos em alguns aparelhos, a saber: televisores, aparelhos de som e microcomputadores. No que se refere às curvas térmicas, há de se reconhecer que estas empregaram um conceito tradicional e bem estabelecido nos mais diversos campos da engenharia, qual seja, os limites térmicos se fundamentaram na máxima energia suportável pelos dispositivos quando estes se encontram submetidos a altos níveis de corrente elétrica.

Adicionalmente, o programa passou a contar com a possibilidade da avaliação dos impactos térmicos e dielétricos sob a ação e sem a presença de dispositivos mitigadores (DPS), os quais foram estudados, modelados e implementados no aplicativo. Dentro deste contexto, foram também realizados trabalhos investigativos sobre a eficácia deste dispositivo de proteção e ratificada sua eficácia sobre a atenuação dos impactos associados aos distúrbios presentes nas redes elétricas. De fato, além das constatações computacionais, vários ensaios experimentais foram também realizados e os desempenhos obtidos em laboratório foram totalmente concordantes com as previsões através do software.

Objetivando elucidar a potencialidade e utilização do aplicativo APR-3.0, a partir de uma situação concreta de PID, foram realizados estudos visando a obtenção de um parecer computacional sobre a existência ou não do nexo causal envolvendo a incidência de uma descarga atmosférica e danos em um televisor. Os estudos feitos e descritos serviram como base para ilustrar a aplicação e potencialidade da ferramenta obtida e os resultados evidenciaram, de forma simples e objetiva, as diversas etapas e informações requeridas, assim como também a forma através da qual se correlaciona as causas com os efeitos, evidenciando, inclusive, a relevância dos equipamentos de mitigação para a preservação da vida útil dos equipamentos dos consumidores.

## VII. AGRADECIMENTOS

A equipe técnica da UFU expressa seu reconhecimento e gratidão à empresa CEMIG-D/Uberlândia-MG, pela confiança, colaboração técnica e apoio financeiro, sem os quais os avanços científicos aqui relatados não teriam sido atingidos.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JUCÁ A. S., "Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de adequação", Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo/SP, 2003.
- [2] DUGAN R. C., MCGRANAGHAN M. F., SANTOSO S., BEATY H. W., *Electrical Power Systems Quality*, 2nd Edition. USA: McGraw-Hill, 2003.
- [3] TAVARES C. E., OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. V. B., DELAIBA A. C., SILVA R. M. T., "An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages", *Revista Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, vol. 13, Nº 1, Fevereiro de 2008.
- [4] BOLLEN M. H. J., *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [5] ERMELER K., PFEIFFER W., SCHOEN D., SCHOCKE M., "Surge Immunity of Electronic Equipment", *IEEE - Electrical Insulation Magazine*, Vol. 14, 1998.
- [6] TEIXEIRA M. D., ARAÚJO R. L., ARDJOMAND L. M., AOKI A. R., QUOIRIN N. S. R., WUNDERLICH I., "Acceptable Power Quality Limits to Avoid Damages in Appliances", *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Issue 5, vol. 4, May 2005.
- [7] TAVARES E. C., OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. V. B., DELAIBA A. C., SILVA R. M. T., "An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages", *Revista Eletrônica de Potência – SOBRAEP*, vol. 13, Nº 1, fevereiro de 2008.
- [8] TAVARES E. C., OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. V. B., DELAIBA A. C., SILVA R. M. T., "Aplicativo Computacional para Subsidiar a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento" - CBQEE 2007, Santos/SP, 2007.
- [9] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA JR. J. A. F., "Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 01 / ano 02, agosto de 2009.
- [10] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA JR. J. A. F., "Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 02 / ano 02, abril de 2010.
- [11] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA JR. J. A. F., "Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 04 / ano 01, abril de 2009.
- [12] ITI (CBEMA) Curve Application Note [Online]. Disponível em: <http://www.itic.org/archives/iticurv.pdf>, acessado em janeiro de 2007.
- [13] JESUS N. C., OLIVEIRA H. R. P. M., MARTINEZ M. L. B., "Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaios de Sobreensões" - XVIII SNPTTE, Curitiba/PR, Outubro de 2005.
- [14] TAVARES C. E., "Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores", Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2008.