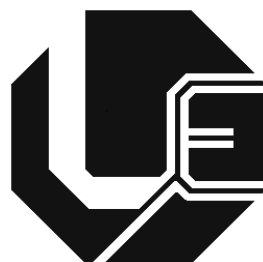


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**Curvas de Suportabilidade Dielétrica e  
Térmica para Televisores integradas ao  
APR e ao Banco de Dados da Cemig  
Distribuição S.A.**

**Claudinei Jeremias de Ávila**

**Uberlândia  
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

***FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA***

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**Curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica  
para Televisores integradas ao APR e ao Banco de  
Dados da Cemig Distribuição S.A.**

Dissertação apresentada por Claudinei  
Jeremias de Ávila à Universidade  
Federal de Uberlândia para a obtenção  
do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:  
Antônio Carlos Delaiba (Orientador) – Dr. - UFU  
José Carlos de Oliveira – PHD - UFU  
Antônio César Baleeiro – Dr. - UFG

CURVAS DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA E  
TÉRMICA PARA TELEVISORES INTEGRADAS AO APR  
E AO BANCO DE DADOS DA CEMIG  
DISTRIBUIÇÃO S.A.

**Claudinei Jeremias de Ávila**

Dissertação apresentada por Claudinei Jeremias de Ávila  
à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para  
a obtenção do título de Mestre em Ciências.

---

*Prof. Antônio Carlos Delaiba, Dr*  
(Orientador) – UFU

---

*Prof. Alexandre Cardoso, Dr*  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

A958c Ávila, Claudinei Jeremias de, 1967-  
2012 Curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para televisores integradas ao APR e ao banco de dados da Cemig Distribuição S.A / Claudinei Jeremias de Ávila. - 2012.

186 p. : il.

Orientador: Antônio Carlos Delaiba.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Sistemas de energia elétrica - Controle de qualidade - Teses. 3. Compensação (Direito) - Teses. 4. Banco de dados - Gerência - Teses. I. Delaiba, Antônio Carlos. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

---

CDU: 621.3

---

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos que lutaram sempre e nunca desistiram, meus pais Walter e Geni, aos meus irmãos Rondinei e Gláucia, à minha esposa Mônica, companheira de todas as horas e lugares, às minhas queridas filhas Júlia e Vitória aos meus amigos da Cemig e a todos que de alguma forma contribuíram para esta valorosa conquista. Todo apoio, compreensão, amor, paciência, e incentivo foram essenciais para a superação das inúmeras dificuldades e a minha força vem da energia positiva que recebo de cada um de vocês.*

---

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, nosso pai, criador, pelo alento, pela minha saúde, saúde de todos os meus familiares, pelo meu trabalho, condição primordial para que eu pudesse seguir em frente com determinação e por fim, pela sua grande proteção em todos os momentos e km's percorridos para alcançar esse objetivo.

Meu agradecimento muito especial ao meu orientador, Professor **Antônio Carlos Delaiba**, por toda a sua paciência, amizade, colaboração, incentivo, e seus imprescindíveis ensinamentos, sem os quais, esse trabalho seria apenas um sonho.

Ao professor **José Carlos de Oliveira** pela grande confiança, amizade e apoio, tornando possível trilharmos um caminho que nos levasse ao desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa **Mônica**, pela constante motivação, ajuda, cumplicidade, compreensão, companheirismo fazendo-me sentir mais forte e determinado frente a todos os desafios que se renovam a cada mudança, a cada dia, a cada recomeço.

As minhas filhas **Vitória e Júlia**, pela sua simples existência e carinho.

Aos amigos **Edécio Antônio Martins e Jonmil Borges**, companheiros de Cemig, de inúmeras reuniões e e-mails, de todas as etapas vividas, pelo seu companheirismo, competência, profissionalismo e, acima de tudo, pela grande amizade que nos fortaleceram e tornou o nosso caminho mais fácil.

Ao amigo e ex-companheiro de Cemig, **Francisco de Assis Soares**, que acreditou no potencial da equipe e viabilizou a nossa participação no Programa de Pós Graduação da UFU.

Aos companheiros da Universidade Federal de Uberlândia, **Isaac Gondin, Carlos Eduardo, Sérgio, João e Marcus** pelo grande apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFU, através de seus professores, pela oportunidade de crescimento e aprendizado.

A **Cemig Distribuição S.A** pelo apoio logístico através de projeto de P&D-238 firmado com a UFU no tema da pesquisa apresentada por esta tese.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta dissertação de mestrado.

---

---

## RESUMO

A Portaria Aneel Nº 414 de 9 de setembro de 2010, garante o direito aos consumidores de energia elétrica atendidos em tensão igual ou inferior a 2,3 kV, em caso de dano causado por perturbação ocorrida no sistema, a reposição dos equipamentos elétricos danificados, instalados em unidades consumidoras, na mesma condição de funcionamento anterior à ocorrência constatada ou, alternativamente, indenização em valor monetário equivalente ao que seria necessário para fazê-lo retornar à referida condição, ou, ainda, substituição por equipamento equivalente, independentemente de culpa da concessionária.

O consumidor tem até 90 (noventa) dias, a contar da data provável da ocorrência do dano elétrico no equipamento, para solicitar o ressarcimento à distribuidora, devendo fornecer, no mínimo, os seguintes elementos, segundo a portaria supracitada:

- I – data e horário prováveis da ocorrência do dano;
- II – informações que demonstrem que o solicitante é o titular da unidade consumidora, ou seu representante legal;
- III – relato do problema apresentado pelo equipamento elétrico; e
- IV – descrição e características gerais do equipamento danificado, tais como marca e modelo.

A mesma portaria estabelece que a distribuidora deve investigar a existência do nexo de causalidade, considerando inclusive os registros de ocorrências na sua rede e que deve informar ao consumidor o resultado da solicitação de ressarcimento, por escrito, em até 15 (quinze) dias, contados a partir da data da verificação ou, na falta desta, a partir da data da solicitação de ressarcimento.

---

---

Também no caso de indeferimento, a distribuidora deve apresentar ao consumidor um formulário próprio padronizado, por escrito, contendo, no mínimo, as razões detalhadas para o indeferimento.

Pela complexidade da análise dos distúrbios propagados pelo sistema elétrico da concessionária e pela falta de ferramentas que suportem tais análises, o que se vê atualmente são análises simplistas, normalmente baseadas em laudos técnicos de uma assistência autorizada, que sugere uma possível origem para o defeito. A concessionária, muitas vezes, opta por efetuar o ressarcimento para evitar desgaste de imagem e conflitos com os seus consumidores.

Assim, dadas as novas exigências da atual portaria, a necessidade de estabelecimento de uma metodologia científica e de fácil operacionalização, o crescente número de reclamações e um elevado custo de indenizações pagas, as concessionárias têm investido em pesquisas de P&D junto as instituições científicas para obtenção de procedimentos que possam contribuir para uma situação mais transparente, justa e com base científica para este cenário.

Isto posto, essa dissertação de mestrado vem de encontro às necessidades acima elencadas, propondo uma metodologia para análise de pedidos de ressarcimentos de televisores, baseada em novas curvas de suportabilidade dielétrica e inéditas curvas térmicas, integrando de forma simples e rápida ao banco de dados georeferenciados do sistema elétrico da concessionária Cemig Distribuição S.A., culminando em um aplicativo computacional de fácil operação.

Palavras-Chave: Ressarcimento de danos, Qualidade da Energia, Banco de Dados Georeferenciados.

---



---

## ABSTRACT

Aneel Ordinance No. 414 of September 9, 2010, guarantees the right to consumers of electricity supplied at a voltage equal to or less than 2.3 kV, in case of damage caused by disruption occurred in the system, replacement of damaged electrical equipment, installed in consumer units, operating in the same condition found prior to the occurrence or, alternatively, compensation in cash equivalent to that required to make it return to that condition, or even replaced with equivalent equipment, regardless of fault of the concessionaire.

The consumer has up to 90 (ninety) days from the date of the likely occurrence of lightning damage to equipment, to request reimbursement to the distributor, and provide at least the following elements, according to the ordinance above:

- I - likely date and time the damage occurred;
- II - information showing that the applicant is the holder of the consumer unit, or his legal representative;
- III - report of the problem presented by electrical equipment, and
- IV - Description and general characteristics of the damaged equipment, such as brand and model.

The same decree states that the distributor should investigate the existence of causation, even considering the records of occurrences in your network and must inform the consumer the result of the reimbursement request in writing within 15 (fifteen) days from the date of the check or, failing that, from the date of the request for reimbursement.

Also in case of refusal, the distributor must provide the consumer with a standardized application form in writing, containing at least the detailed reasons for the rejection.

Due to the complexity of the analysis of power system disturbances propagated by the concessionaire and the lack of tools to support such analysis, what we see

---

---

today are simplistic analysis, often based on technical reports from an authorized dealer, which suggests a possible origin for the defect. The concessionaire will often choose to make the compensation to avoid wear and image conflicts with their customers.

Thus, given the new demands of the current ordinance, the need to establish a scientific methodology and easy operation, the growing number of complaints and a high cost of claims paid, utilities have invested in research R & D from scientific institutions to obtain procedures that can contribute to a more transparent, fair and scientific basis for this scenario. That said, this dissertation has met the needs listed above, proposing a methodology for examining applications for reimbursements of televisions based on the new curves and dielectric withstand unprecedented thermal curves, integrating quickly and easily to the geo-referenced database the system's electrical utility Cemig SA, culminating in a software for easy operation. Keywords: damages, Power Quality, geo-referenced database.

---

---

# SUMÁRIO

## Capítulo I

---

### Introdução geral

|  |    |
|--|----|
| 1.1 – Considerações iniciais .....                     | 16 |
| 1.2 – Estado da arte sobre o tema desta pesquisa ..... | 20 |
| 1.3 – Contribuições desta dissertação .....            | 29 |
| 1.4 – Estrutura da dissertação.....                    | 32 |

## Capítulo II

---

### Levantamento estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos

|   |    |
|---|----|
| 2.1 – Considerações iniciais .....  | 35 |
| 2.2 – Levantamentos quantitativos.....  | 36 |
| 2.3 – Desembolso financeiro em função dos fenômenos elétricos e causas que originaram os pedidos de ressarcimentos de danos ..... | 37 |
| 2.4 - Considerações finais.....   | 45 |

## Capítulo III

---

### Ensaio de suportabilidade térmica e dielétrica de televisores

|   |     |
|---|-----|
| 3.1 - Considerações iniciais .....  | 47  |
| 3.2 – Conceitos.....  | 49  |
| 3.3 - Metodologia para cálculo e quantificação dos indicadores das solicitações dielétricas e térmicas..... | 49  |
| 3.4 – Curvas de suportabilidade existentes.....   | 56  |
| 3.5 – Sistematização de uma estrutura laboratorial para a realização de ensaios de suportabilidade.....     | 61  |
| 3.6 – Ensaio de sobretensões na frequência industrial.....  | 72  |
| 3.7 – Ensaio laboratorial associado com sobretensões devido à queda dos cabos da média na baixa tensão..... | 88  |
| 3.8- Ensaio de impulsos de tensão e corrente associados com as descargas atmosféricas.....                  | 99  |
| 3.9 – Conclusões finais.....  | 117 |

---

---

## Capítulo IV

---

### Curvas de suportabilidade dos televisores e estudos de casos

|  |     |
|--|-----|
| 4.1 Considerações iniciais .....   | 119 |
| 4.2 Apresentação das curvas de suportabilidade térmica.....  | 120 |
| 4.3 Apresentação das curvas de suportabilidade dielétrica.....   | 124 |
| 4.4 Analisador de pedidos de ressarcimento – APR-3.0 Cemig.....  | 127 |
| 4.5 Estudos de casos de pedidos de ressarcimentos de danos a televisores da Cemig<br>Distribuição S.A..... | 130 |
| 4.6 Conclusões finais.....   | 160 |

---

## Capítulo V

---

### Conclusões gerais

|  |     |
|--|-----|
| a) Capítulo I– Considerações iniciais, atualidade e importância do tema qualidade de energia e principais contribuições desse trabalho ..... | 164 |
| b) Capítulo II – Levantamento estatístico.....   | 165 |
| c) Capítulo III – Análise da suportabilidade térmica e dielétrica das TV's .....   | 166 |
| d) Capítulo IV – Curvas de suportabilidade dos televisores e estudos de casos .....  | 168 |
| Referências bibliográficas.....  | 170 |

---

## Lista de Figuras

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Quantidade de equipamentos danificados por tipo de causas processos.....                            | 37 |
| Figura 2.2 - Custos financeiros por tipo de causas .....   | 38 |
| Figura 2.3 – Quantidade de equipamentos indenizados por tipo.....  | 39 |
| Figura 2.4 – Tipos de equipamentos indenizados e custos associados no processo.....                              | 39 |
| Figura 2.5 – Aparelhos de TV classificados quanto à marca indenizada .....                                       | 40 |
| Figura 2.6 - Custo total dos aparelhos de TV indenizados por marca .....   | 41 |
| Figura 2.7 – Aparelhos de TV indenizados e classificados quanto ao tempo de uso .....                            | 45 |
| Figura 3.1 - Tensão de suprimento contendo um transitório oscilatório .....                                      | 50 |
| Figura 3.2 – Modelagem da curva de suportabilidade dielétrica .....  | 52 |
| Figura 3.3 - Definição da Integral de Joule. ....  | 55 |
| Figura 3.4 - Curva típica para a suportabilidade térmica de um equipamento .....                                 | 56 |
| Figura 3.5 - Curva de suportabilidade ITIC.....  | 59 |
| Figura 3.6 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV .....   | 60 |
| Figura 3.7 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV. ....   | 61 |
| Figura 3.8 – Foto ilustrativa mostrando a estrutura laboratorial para ensaios .....                              | 66 |
| Figura 3.9 - Montagem laboratorial para levantamento de curva de suportabilidade dielétrica em televisores ..... | 67 |
| Figura 3.10 – Detalhes da montagem laboratorial.....   | 67 |
| Figura 3.11 – Fotografia ilustrativa de um televisor queimado durante os testes. ....                            | 68 |
| Figura 3.12 – Elementos funcionais da fonte AC. . ....   | 69 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.13 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio. .   | 73  |
| Figura 3.13 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.....   | 74  |
| Figura 3.13 c – Formas de onda da tensão e da corrente obtidas neste ensaio. ....  | 74  |
| Figura 3.14 a – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philco de 14 polegadas. Momento da danificação do equipamento .....  | 75  |
| Figura 3.14 b – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philco de 14 polegadas. Circuito elétrico danificado da TV .....   | 75  |
| Figura 3.15 a – Formas de onda da tensão aplicada neste ensaio.....  | 76  |
| Figura 3.15 b – Formas de onda da corrente obtida neste ensaio. ....   | 77  |
| Figura 3.15 c – Formas de onda da tensão e da corrente obtida neste ensaio. ....   | 77  |
| Figura 3.16 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philco de 20 polegadas. ....   | 78  |
| Figura 3.17 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio. ....  | 79  |
| Figura 3.17 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio. ....  | 80  |
| Figura 3.17 c – Formas de onda da tensão e da corrente obtidas neste ensaio. ....  | 80  |
| Figura 3.18 a – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips usado de 20 polegadas. Momento da danificação do equipamento.....  | 81  |
| Figura 3.18 b – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips usado de 20 polegadas. Circuito elétrico danificado da TV .....  | 81  |
| Figura 3.19 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio. ....  | 82  |
| Figura 3.19 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio. ....  | 83  |
| Figura 3.19 c – Formas de onda da tensão e da corrente obtida neste ensaio. ....   | 83  |
| Figura 3.20 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Toshiba de 29 polegadas. ....  | 84  |
| Figura 3.21 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio. ....  | 85  |
| Figura 3.21 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio .....  | 86  |
| Figura 3.21 c – Formas de onda da tensão e da corrente obtida neste ensaio .....   | 86  |
| Figura 3.22 a – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips novo de 21 polegadas. Momento da danificação do equipamento.....   | 87  |
| Figura 3.22 b – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips novo de 21 polegadas. Circuito elétrico danificado da TV .....   | 87  |
| Figura 3.23 - Montagem laboratorial para o ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa.....  | 90  |
| Figura 3.24 – Detalhes da montagem laboratorial. Ensaio do televisor usado 20 polegadas...   | 91  |
| Figura 3.25 – Detalhes da montagem experimental – Comando contator via botoeira. ....  | 91  |
| Figura 3.26 – Formas de onda das tensões e correntes medidas no ensaio a vazio. ....   | 92  |
| Figura 3.27 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o aparelho televisor Philco 20 polegadas (usado).....                              | 95  |
| Figura 3.28 – Montagem Laboratorial.....   | 97  |
| Figura 3.29 – Um dos componentes danificados da TV Philco 20 polegadas (usada).....  | 97  |
| Figura 3.30 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o Televisor Philips 29 polegadas (novo). ....                                      | 97  |
| Figura 3.31a – Ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa – Ensaio com o Televisor Philips 29 polegadas (novo). Momento da danificação do equipamento ..... | 99  |
| Figura 3.31b – Ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa – Ensaio com o Televisor Philips 29 polegadas (novo). Um dos componentes danificados da TV .....  | 99  |
| Figura 3.32 – Interação entre as descargas atmosféricas e as redes de distribuição. ....   | 100 |
| Figura 3.33 – Forma de onda para impulso de tensão. ....   | 101 |
| Figura 3.34 – Forma de onda para impulso de corrente. ....   | 101 |
| Figura 3.35 - Gerador de impulso de tensão Haefely 1,2 KJ – 450 kV da UNIFEI. ....   | 103 |
| Figura 3.36 - Gerador de impulso de corrente. ....   | 103 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.37 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial para levantamento das curvas de suportabilidade.....                               | 104 |
| Figura 3.38 – Detalhes da montagem laboratorial. ....  | 105 |
| Figura 3.39 – Impulso de corrente aplicado a um eletroeletrônico .....   | 105 |
| Figura 3.40 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida (Sem DPS). ....   | 108 |
| Figura 3.41 – Componente elétrico danificado da TV. ....   | 109 |
| Figura 3.42 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida (Sem DPS). ....   | 109 |
| Figura 3.43 – Componente elétrico danificado da TV. ....   | 110 |
| Figura 3.44a – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida (Com DPS) .....  | 111 |
| Figura 3.44b – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida (Sem DPS). ....  | 111 |
| Figura 3.45 – Componente elétrico danificado da TV. ....   | 112 |
| Figura 3.46 – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (Sem DPS). ....  | 113 |
| Figura 3.47 – Componente danificado da TV. ....  | 114 |
| Figura 3.48 a – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (Com DPS) .....  | 115 |
| Figura 3.48 b – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (Sem DPS) .....  | 115 |
| Figura 3.49 – Chave Power danificada da TV neste ensaio. ....  | 116 |
| Figura 4.1 – Curva de suportabilidade térmica - televisor Panasonic 29 polegadas (novo)...   | 121 |
| Figura 4.2 – Curva de suportabilidade térmica - televisor Philips 29 polegadas (novo).....   | 121 |
| Figura 4.3 – Curva de suportabilidade térmica - televisor Philips 29 polegadas (usado) .....   | 122 |
| Figura 4.4 – Curva de suportabilidade térmica – televisor Philips 21 polegadas (novo).....   | 122 |
| Figura 4.5 – Curva de suportabilidade térmica - televisor LG 20 polegadas (usado) .....  | 123 |
| Figura 4.6 – Inserção da curva de suportabilidade térmica no APR .....   | 124 |
| Figura 4.7 – Elevação de tensão aplicada a um eletroeletrônico.....  | 124 |
| Figura 4.8 – Curva de suportabilidade dielétrica - televisor Philips 29 polegadas (novo)....   | 126 |
| Figura 4.9 – Inserção da curva de suportabilidade dielétrica no APR 3.0-CEMIG .....  | 127 |
| Figura 4.10 – Exemplo de modelagem de alimentador feita manualmente no APR.....  | 131 |
| Figura 4.11 – Exemplo da modelagem de um alimentador realizada através da interface do banco de dados da Cemig D e o APR.....                  | 132 |
| Figura 4.12 - Seleção do cliente reclamante no aplicativo APR 3.0 CEMIG .....  | 134 |
| Figura 4.13 – Diagrama unifilar simplificado representado no aplicativo APR .....  | 134 |
| Figura 4.14 – Seleção do equipamento a ser analisado na instalação reclamante. ....  | 135 |
| Figura 4.15 a - Configuração da descarga atmosférica na média tensão.....  | 137 |
| Figura 4.15 b - Ponto de aplicação da descarga atmosférica na média tensão.....  | 137 |
| Figura 4.16 a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor antes da descarga Atmosférica .....                              | 138 |
| Figura 4.16 b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor antes da descarga Atmosférica. ....                            | 139 |
| Figura 4.16 c- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga Atmosférica .....                                | 139 |
| Figura 4.16 d- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga Atmosférica .....                              | 140 |
| Figura 4.17 - Análise comparativa da solicitação dielétrica diante dos níveis de suportabilidade do televisor, utilizando-se a curva ITIC..... | 141 |
| Figura 4.18 – Seleção do televisor a ser analisado no cliente com proteção de DPS. ....  | 142 |
| Figura 4.19 a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – Com DPS .....                      | 143 |
| Figura 4.19 b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga Atmosférica – Com DPS .....                    | 144 |
| Figura 4.20 - Solicitação dielétrica no televisor diante dos níveis de suportabilidade utilizando-se a curva ITIC - Com DPS.....               | 145 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.21 – Seleção das curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica. ....   | 146 |
| Figura 4.22 - Análise comparativa da solicitação térmica.....  | 147 |
| Figura 4.23 - Análise comparativa da solicitação dielétrica.....   | 147 |
| Figura 4.24 - Seleção do cliente reclamante no aplicativo APR 3.0 CEMIG .....  | 149 |
| Figura 4.25 – Diagrama unifilar simplificado representado no aplicativo APR. ....  | 149 |
| Figura 4.26 – Seleção da TV 29 polegadas a ser analisada na instalação reclamante.....   | 150 |
| Figura 4.27 - Configuração da descarga atmosférica na baixa tensão próxima ao cliente....                                      | 151 |
| Figura 4.28 a- Forma de onda da tensão na entrada do televisor antes da descarga atmosférica .....                             | 152 |
| Figura 4.28 b- Forma de onda da corrente na entrada do televisor antes da descarga atmosférica. ....                           | 152 |
| Figura 4.28 c- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga Atmosférica .....                | 153 |
| Figura 4.28 d- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga Atmosférica .....              | 153 |
| Figura 4.29 – Seleção das curvas mínimas de suportabilidade da TV 29” .....  | 154 |
| Figura 4.30 - Análise comparativa da solicitação térmica.....  | 154 |
| Figura 4.31 - Análise comparativa da solicitação dielétrica.....   | 155 |
| Figura 4.32 – Seleção do televisor 29 polegadas a ser analisado no cliente com proteção de DPS .....                           | 156 |
| Figura 4.33 a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – Com DPS .....      | 157 |
| Figura 4.33 b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – Com DPS .....    | 158 |
| Figura 4.34 – Solicitação dielétrica no televisor diante dos níveis de suportabilidade dielétrica – TV protegida com DPS ..... | 159 |
| Figura 4.35 – Solicitação térmica no televisor diante dos níveis de suportabilidade térmica – TV protegida com DPS .....       | 159 |

## Lista de tabelas

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2.1 – Aparelhos de TV classificados quanto ao tamanho em polegadas.....             | 44  |
| Tabela 3.1 - Ensaio nas condições nominais.....  | 65  |
| Tabela 3.2 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial.....                         | 65  |
| Tabela 3.3 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial .....                        | 73  |
| Tabela 3.4 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial .....                        | 76  |
| Tabela 3.5 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial .....                        | 79  |
| Tabela 3.6 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial .....                        | 82  |
| Tabela 3.7 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial .....                        | 85  |
| Tabela 4.1 – Síntese dos resultados laboratoriais obtidos nos ensaios de impulso .....     | 120 |
| Tabela 4.2 – Síntese dos resultados laboratoriais realizados na UFU .....                  | 125 |
| Tabela 4.3 – Síntese dos resultados laboratoriais de transitórios impulsivos – UNIFEI..... | 126 |

---

---

## Lista de símbolos / abreviações

---

|                 |  |
|-----------------|--|
| DHT             | - Distorção harmônica total [%]  |
| V               | - Tensão   |
| I               | - Corrente   |
| $I_n$ %         | - Corrente harmônica de ordem n em porcentagem da fundamental [%]  |
| $I_1$           | - Corrente fundamental [A]   |
| $t_1, t_2,$     | - Instantes de tempo [s]   |
| $\Delta t$      | - Passo de integração [s]  |
| $V_k$           | - Valor da solicitação dielétrica para um instante de tempo qualquer [V]   |
| $V_i$           | - Valor instantâneo da tensão para um instante de tempo qualquer [V]   |
| n               | - Número de amostras   |
| $I_k$           | - Valor da solicitação térmica para um instante de tempo qualquer [A]  |
| $i(t)$          | - Valor instantâneo da corrente para um instante de tempo qualquer [A]   |
| $Y(t)$          | - Valor da tensão ou da corrente admitida pelo equipamento durante um dado intervalo de tempo [V] ou [A]         |
| $\alpha, \beta$ | - Constantes que definem o formato da curva de suportabilidade dielétrica e térmica dos equipamentos [V] ou [A]; |
| J               | Energia máxima admitida pelo equipamento, sendo constante para qualquer instante de tempo                        |
| P               | - Potência ativa [w]   |
| Q               | - Potência reativa [var]   |
| S               | - Potência aparente [va]   |
| CA              | - Corrente alternada [A]   |
| CC              | -Corrente contínua [A]   |
| f               | - Frequência [Hz]  |
| DPS             | - Dispositivo de proteção contra surtos  |
| PID             | - Pedido de Indenização por Dano   |
| APR             | - Analisador de Pedidos de Ressarcimentos  |
| UFU             | - Universidade Federal de Uberlândia   |
| Cemig           | - Companhia Energética de Minas Gerais   |
| CEB             | - Centrais Elétricas de Brasília   |
| P&D             | - Pesquisa e Desenvolvimento   |

---



# **CAPÍTULO I**

---

## **Introdução Geral**

### **1.1 - Considerações iniciais**

Os Pedidos de Indenização por Danos-PID's, aliados a recente publicação da Resolução ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010, capítulo XVI, determinam as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras. O tema em pauta, diante da sua relevância social e também da grande diversidade de distúrbios passíveis de manifestação nas redes elétricas representa, na atualidade, tema de extrema importância.

Dentro do contexto geral deste assunto vale lembrar que compete à Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL regular os serviços de energia elétrica, tendo, dentre outros objetivos, a busca do equilíbrio entre os interesses do consumidor e da concessionária, e no caso em específico, emitir documentos voltados para a definição das diretrizes às questões de ressarcimento.

Segundo estudos realizados pela Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição-SRD da ANEEL no ano 2007, 51% dos casos de solicitação de ressarcimento de danos elétricos de oito grandes concessionárias de distribuição do país não estavam corretos, ou seja, para as concessionárias não houve nexo de causalidade quando, de fato, restou comprovado o contrário.

As controvérsias entre as partes são inevitáveis visto que os suprimentos elétricos vêm se apresentando com características notadamente diferentes daquelas consideradas ideais [1], fato este que pode produzir impactos e, para muitas situações, comprometimentos dos equipamentos que perfazem os consumos residenciais, comerciais e industriais [2]. De fato, se de um lado os desvios dos padrões ideais das alimentações elétricas tendem a um crescente aumento, de outro, os equipamentos de tecnologias mais recentes, geralmente mais sensíveis e vulneráveis aos distúrbios originados nas redes de distribuição, podem sofrer danos físicos permanentes, dependendo do grau de severidade da extensa variedade de fenômenos ocorridos em um sistema de energia elétrica, exigindo sua reparação ou reposição [3], [4] e [5]. Estes fenômenos podem manifestar-se em vários pontos da rede elétrica, os quais podem ser de natureza local (dentro da própria instalação consumidora), ou um distúrbio de natureza externa ou remota.

Atualmente, pelo crescente acesso à informação e maior divulgação dos direitos do consumidor, a população encontra-se melhor informada e mais consciente dos seus direitos enquanto consumidores. Diante destes aspectos, tem-se constatado um aumento significativo dos pedidos de ressarcimento feitos por consumidores atendidos em baixa tensão às empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, devido aos danos em equipamentos eletroeletrônicos, possivelmente ocasionados por problemas na qualidade da energia elétrica de suprimento. Estas situações de conflito entre consumidor e concessionária têm crescido e se mostra com uma taxa extremamente elevada, fato este que permite concluir que, num futuro próximo, o assunto em pauta se apresentará como um dos mais relevantes pontos impactantes sobre o relacionamento entre os fornecedores e os consumidores de energia [6].

Dentro desta perspectiva, os Pedidos de Indenização por Danos se apresentam como tema de grande importância no âmbito das concessionárias de

energia elétrica e isto, indiscutivelmente, leva a necessidade da busca de meios para oferecer de forma confiável, tecnicamente fundamentada, com a merecida e devida rapidez de resposta, dentre outros quesitos. A questão ganha maior relevância se forem considerados os recursos financeiros envolvidos.

O agravante desta situação é que, nos termos presentes, a grande maioria das empresas de energia elétrica não possui registros de grandezas elétricas associadas às ocorrências de campo e tampouco processos sistematizados que permitam correlacionar de maneira precisa os fenômenos envolvidos com os padrões de suportabilidade dos equipamentos eletroeletrônicos. Desta maneira, geralmente resta às concessionárias apenas investigar a existência do nexo de causalidade, procedimento este que, no momento, ocorre de forma extremamente simplificada, utilizando para tanto, mecanismos fundamentados em inspeções visuais dos produtos danificados e uma eventual correlação com um ou outro distúrbio ocorrido na rede.

No intuito de estabelecer meios para sistematizar um procedimento para correlacionar um dano ocorrido em um equipamento eletroeletrônico e uma manifestação eventualmente responsável pelo distúrbio na tensão ao qual seria atribuído o efeito final, a utilização de ferramentas computacionais surge como uma metodologia promissora para fornecer informações e pareceres conclusivos sobre a matéria. Dentro deste contexto, a concepção desta estratégia passaria, necessariamente, pelas seguintes etapas:

- Caracterização do dano, modelagem da rede elétrica desde o ponto de incidência do distúrbio até o consumidor reclamante;
- Representação do equipamento danificado;
- Propagação dos fenômenos ocorridos até os terminais de entrada do produto reclamado;
- Determinação das tensões e correntes no ponto de conexão do equipamento danificado;

- Transformação das tensões e correntes impactantes em esforços dielétricos e térmicos;
- Análise comparativa entre os esforços dielétricos e térmicos com os respectivos limites de suportabilidade;
- Emissão de um parecer sobre a possibilidade ou não dos danos reclamados.

Desta maneira, a simulação em ambiente computacional para avaliar o desempenho de um sistema de distribuição e, conseqüentemente, qualificar e quantificar as perturbações ocorridas, seus efeitos e impactos nos equipamentos conectados ao sistema, apresenta-se como um procedimento fundamentado em princípios físicos e técnicos isentos de interesses de uma ou outra parte.

Seguindo esta filosofia, o Grupo de Pesquisadores da Universidade Federal de Uberlândia, atuante na área da Qualidade da Energia Elétrica, ao longo da última década, concebeu, desenvolveu, implementou e realizou testes avaliativos iniciais em um aplicativo computacional destinado a cumprir as metas supra delineadas.

Neste particular, a referência [7] sintetiza resultados de uma estratégia computacional para análise de pedidos de ressarcimento de danos, onde os cálculos e os processamentos internos utilizam as rotinas do ATP (Alternative Transients Program). Esta plataforma computacional, como ratificado pela sua difusão e aceitação no setor elétrico mundial, no que tange a modelagem das redes, cálculos dos fenômenos e respectivas propagações, em que pese a obtenção de correntes e tensões até o ponto de conexão do consumidor, se apresenta como uma estratégia confiável e largamente empregada. Tal segurança compreende inúmeros testes de desempenho envolvendo estudos de regime permanente, dinâmicos e transitórios.

Empregando tal estrutura de cálculo, a idéia básica da proposta contida na mencionada referência está alicerçada na obtenção de um aplicativo

computacional que correlacione, de forma amigável com o usuário, um mecanismo que permita: modelar a rede de distribuição ou outra com todas suas particularidades e componentes, simular e propagar os efeitos da fonte de distúrbio focada, obter os mencionados esforços dielétricos e térmicos impostos sobre os produtos contemplados no PID. Por fim, através da comparação destes resultados com os limites admissíveis pelo equipamento sob análise, conduzir a informações que permitam constatar a consistência ou não da solicitação em estudo. A ferramenta assim obtida foi denominada por Aplicativo ou Analisador de Pedidos de Ressarcimento-**APR** [7], o qual, através de uma já destacada interface gráfica “amigável” oferece uma gama de modelos representativos dos mais variados dispositivos utilizados por consumidores.

Estes modelos, que na atualidade totalizam 33 produtos distintos, foram validados em ensaios laboratoriais, fato este que propicia um respeitável grau de confiabilidade aos resultados.

Diante deste contexto, o APR foi desenvolvido ao longo do tempo através de projetos de pesquisa e desenvolvimento, P&D, entre UFU, LIGHT-RJ [8] e CEB-DF[ 7,9], chegando na versão 2.0 do aplicativo.

Diante do exposto esta dissertação se apresenta na forma de um avanço do produto citado o qual foi objeto de desenvolvimentos, aprimoramentos e melhorias através das conquistas atingidas com o projeto de pesquisa firmado entre a CEMIG e a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia [10,11,12, 13]. As principais contribuições deste trabalho estão citadas no item 1.3 deste capítulo inicial e descritas ao longo desta dissertação.

## **1.2 Estado da arte sobre o tema central dessa pesquisa**

Após pesquisas e estudos da bibliografia atual encontrada pelos meios tradicionais de acesso, obteve-se um conjunto de informações sobre os mais

distintos trabalhos de pesquisa e avanços do conhecimento no âmbito da área de análise de pedidos de ressarcimento.

De um modo geral, somado a um grande número de artigos, os documentos atrelados com a bibliografia consultada podem ser resumidos nas seguintes referências:

**Referência [1]**

**Título:** Electrical Power Systems Quality

**Autor(es):** Dugan, Roger C.; McGranaghan, M. F.; Santoso, S.; Beaty, H. W.

**Origem:** McGraw-Hill, Second Edition 2002.

**Resumo:** Excelente referência para o estudo e conhecimento dos problemas de qualidade da energia e sua prevenção. Aborda questões relativas às variações de tensão de curta duração, harmônicos, aterramento, sobretensões transitórias resultantes de descargas atmosféricas, analisando o impacto destes fenômenos nas cargas e fornecendo estratégias de mitigação utilizadas pelas concessionárias e consumidores.

**Referência [2]**

**Título:** Understanding Power Quality Problems.

**Autor(es):** Bollen, Math H. J..

**Origem:** IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

**Resumo:** Esta publicação apresenta uma análise detalhada das variações de tensão de curta duração (Voltage Sags) e interrupções, aplicando técnicas matemáticas na solução destes distúrbios. Métodos de mitigação,

caracterização e comportamento de equipamentos sujeitos a estas variações de tensão também são comentados e ponderados.

**Referência [3]**

**Título:** Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos durante Ensaios de Sobretensões

**Autor(es):** Hermes R. P. M. de Oliveira., Nelson C. de Jesus, Manuel L. B. Martinez

**Origem:** XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba-PR, Outubro/2005.

**Resumo:** Este trabalho apresenta 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 diversos equipamentos eletrodomésticos, 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 de desempenho, limites e procedimentos técnicos para análise de solicitações de ressarcimentos de danos elétricos em equipamentos. Sob este mesmo foco, torna-se fundamental o levantamento das curvas de suportabilidade para uma melhor compreensão sob os reais efeitos das sobretensões na operação dos equipamentos, podendo-se correlacionar as possíveis perturbações e ocorrências no sistema elétrico com as conseqüências na operação, em função da severidade típica dos eventos e respectivos níveis de suportabilidade.

**Referência [4]**

**Título:** Valuation for Standard Power Quality Limits Acceptable to Avoid Damages in Appliances

**Autor(es):** Mateus D. Teixeira, Ricardo L. Araújo, Nilton. R. Quorin, Leonardo M. Ardjomand, Alexandre R. Aoki, Pedro Sgobero e Ingo Wunderlich

**Origem:** WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Issue 5, Vol. 4, May 2005.

**Resumo:** Este artigo investiga os principais distúrbios de qualidade da energia que possam causar danos em equipamentos eletroeletrônicos, estabelecendo níveis aceitáveis de suportabilidade física dos mesmos, de acordo com a característica do distúrbio. Este trabalho está focado na identificação dos fenômenos de qualidade da energia mais comuns de acontecerem na rede de distribuição da concessionária COPEL e na análise dos equipamentos mais afetados. Foi também elaborada e aplicada uma rotina de testes para a avaliação dos equipamentos sob estudo. O objetivo deste trabalho é obter dados técnicos que possam subsidiar a análise de pedidos de ressarcimento de consumidores.

**Referência [5]**

**Título:** Surge Immunity of Electronic Equipment

**Autor(es):** K. Ermeler, W. Pfeiffer, D. Schoen, M. Schocke

**Origem:** IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.

**Resumo:** Este artigo mostra os resultados de testes de aparelhos vídeos-cassete em laboratório com respeito à suportabilidade destes equipamentos



contra sobretensões transitórias. O objetivo principal do experimento, realizado de acordo com as exigências da IEC, foi obter informações sobre o desempenho de um equipamento eletrônico de uso normal dos consumidores. O estudo revelou que apenas sete aparelhos passaram no teste sem nenhum dano, e quase todas as falhas observadas estavam situadas na entrada da fonte de alimentação. Embora o dano seja bem pequeno e limitado a alguns componentes, um dispendioso reparo é requerido em alguns casos, segundo os autores.

**Referência [6]**

**Título:** Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação.

**Autor(es):** Anderson da Silva Jucá

**Origem:** Tese de Doutorado - USP, 2003.

**Resumo:** Este trabalho analisa o agravamento das relações entre consumidores e concessionárias a respeito dos pedidos de ressarcimento por danos em aparelhos elétricos provocados por distúrbios da rede elétrica. A agência de regulação percebe um número crescente de conflitos entre as partes e atualmente, não dispõe de meios eficientes para resolvê-los. A pesquisa mostra a experiência internacional, estuda aspectos técnicos, econômicos e jurídicos relevantes para o tema, e conclui que uma forma adequada de diminuir tais conflitos é reduzir a probabilidade de que os danos possam ocorrer. Propõe ações envolvendo concessionárias e sociedade para a proteção do sistema, equilibrando responsabilidades pela instalação de dispositivos protetores para diminuir a solicitação dos surtos transitórios motivadores dos conflitos, pela dificuldade de registro de ocorrência – sobre os aparelhos e por outro

lado, buscando formas de que se diminua a susceptibilidade dos aparelhos.

**Referência [7]**

**Título:** Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores.

**Autor(es):** Carlos Eduardo Tavares

**Origem:** Tese de Doutorado - UFU, 2008.

**Resumo:** Esta tese de doutorado apresenta a concepção de uma metodologia computacional, com base em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas, os quais são impostos aos equipamentos eletroeletrônicos quando submetidos à ação de distúrbios na rede elétrica. Tais indicadores são confrontados com os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise, fornecendo uma orientação técnica que permita avaliar se os impactos dielétricos e térmicos provocados pela rede de suprimento em cada dispositivo são capazes de causar os danos reclamados. De forma a automatizar o processo de análise dos pedidos de ressarcimento, todos os desenvolvimentos são inseridos em um software elaborado especificamente para o tema, denominado por APR – Analisador de Pedidos de Ressarcimento.

**Referência [8]**

**Título:** Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios de Qualidade da Energia Elétrica. Enfoque: Televisores, Videocassetes e Som

**Autor(es):** Carlos Eduardo Tavares

**Origem:** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia Maio, 2004.

**Resumo:** Esta dissertação de mestrado dedica-se a investigar a relação existente entre a Qualidade da Energia elétrica de suprimento e o desempenho de Televisores, Vídeos Cassete e Aparelhos de Som. Distúrbios típicos, tais como: distorções da forma de onda, elevações e afundamentos de tensão, oscilações e interrupções do suprimento de energia e transitórios oscilatórios de alta frequência são utilizados para avaliar o desempenho dos dispositivos. Os estudos são realizados pelos métodos experimental e computacional. Além das análises funcionais, obtêm-se curvas representativas dos níveis de tolerância dos produtos frente aos distúrbios considerados.

### Referência [9]

**Título:** Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos.

**Autor(es):** Marcus Vinicius Borges Mendonça

**Origem:** Tese de Doutorado - UFU, 2010.

**Resumo:** Esta tese de doutorado tem por objetivo propor meios para o aprimoramento de pesquisas anteriormente conduzidas visando o estabelecimento de um mecanismo computacional para a análise e emissão de parecer final a respeito dos pedidos de ressarcimento. Os assuntos principais focados neste trabalho estão centrados nas questões das novas orientações das normas brasileiras sobre a conexão de equipamentos à rede, melhorias de modelos de equipamentos,

implementação computacional dos sistemas de aterramento no aplicativo e validação de todo processo através de casos reais.

**Referência [10]**

**Título:** Metodologia Para Subsidiar a análise de Solicitações de Ressarcimento por Danos, utilizando-se Dispositivos de Proteção Contra Surtos.

**Autor(es):** Orlando Adolfo da Silva

**Origem:** Dissertação de Mestrado - UFU, outubro de 2010.

**Resumo:** Esta dissertação de mestrado concentra seus esforços no aperfeiçoamento de trabalhos anteriores desenvolvidos nesta área de pesquisa. Os principais aspectos abordados no presente trabalho dizem respeito ao conhecimento das características dos pedidos de ressarcimento formulados às concessionárias de distribuição de energia, estudo, elaboração e implementação computacional de dispositivos mitigadores, bem como a avaliação da consistência da modelagem proposta através de estudo de casos reais.

**Referência [11]**

**Título:** 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.

**Autor(es):** Delaiba, A. C., Oliveira, J. C., Tavares, C. E., Mendonça, M. V. B., Gondim, I. N., Barbosa, Jr. J. F.,Borges, J. C., Martins, E. A., Ávila, C. J..

**Origem:** CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.

**Resumo:** Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG. Esse 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 .

### Referência [12]

**Título:** 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.

**Autor(es):** Delaiba, A. C., Oliveira, J. C., Tavares C. E., Mendonça, M. V. B., Gondim, I. N., Barbosa, Jr. J. A. F., Borges, J. C., Martins, E. A., Ávila, C. J..

**Origem:** CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.

**Resumo:** Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG, 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.

## **Referência [13]**

**Título:** 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.

**Autor(es):** Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F.,Borges J. C., Martins E. A., Ávila C. J..

**Origem:** CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.

**Resumo:** Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG, 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.

## **1.3 - Contribuições desta dissertação**

Procurando contribuir para o avanço e consolidação do mecanismo computacional contemplado nas discussões anteriores, a saber, o Aplicativo APR, os trabalhos realizados pela presente pesquisa encontram-se centrados em cinco pontos focais, quais sejam:

**a) Levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de televisores**

Os ensaios para a obtenção de curvas típicas de suportabilidade térmica e dielétrica para os aparelhos televisores, serão iniciados através do estabelecimento de uma estrutura laboratorial e conseqüente realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial. Posteriormente, para os mesmos dispositivos, serão elaborados e conduzidos ensaios experimentais destrutivos, com aplicações de impulso de tensão e corrente com características similares às perturbações associadas com as descargas atmosféricas. Para tanto, utilizar-se-á das instalações do laboratório da alta tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Complementando os aspectos laboratoriais serão realizados diversos ensaios de sobretensões provocadas com a queda de cabos de média na baixa tensão.

Deve-se salientar que em relação às curvas de suportabilidade térmica utilizar-se-á do conceito da energia térmica dissipada, ou seja da integral de Joule, permitida pelos componentes que perfazem as partes mais sensíveis dos dispositivos. Assim, para os estudos contemplados nesta dissertação será adotada a constância da energia térmica máxima admissível pelos equipamentos.

**b) Dispositivos mitigadores**

Outro avanço atingido pelo presente trabalho foi a avaliação dos dispositivos mitigadores empregados para minimizar ou eliminar os efeitos atrelados com os mais distintos distúrbios passíveis de ocorrência nas redes de distribuição de energia elétrica.

Constatou-se nas investigações laboratoriais que a utilização dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS's) reduz substancialmente a

possibilidade de danos a equipamentos eletroeletrônicos, principalmente quando de ocorrências vinculadas com descargas atmosféricas. No que tange aos testes experimentais realizados no laboratório de alta tensão da UNIFEI, vale ressaltar que nenhum televisor sofreu dano físico, quando protegido com DPS, evidenciando o desempenho dos mesmos como dispositivos mitigadores.

Dentro deste contexto, a pesquisa ratificou a eficácia desta estratégia para a minimização dos pedidos de indenização a consumidores.

### **c) Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização dos ensaios destrutivos**

Uma das contribuições desta dissertação está alicerçada no desenvolvimento de uma metodologia laboratorial para a realização de ensaios destrutivos, quais sejam: ensaios de sobretensões na frequência industrial, ensaios de sobretensões associadas com a queda de cabos da média na baixa tensão e ensaios atrelados com as descargas atmosféricas.

Como já comentado, estes testes serviram para o levantamento das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica dos televisores.

Deve-se destacar que, após os ensaios destrutivos, os eletroeletrônicos foram encaminhados para uma oficina eletrônica credenciada da CEMIG, com o objetivo de verificar os componentes danificados, consertá-los e apresentar os custos financeiros associados com os danos nos equipamentos.

### **D) Estudos de casos reais utilizando interface para integração do banco de dados georeferenciados da CEMIG e o APR 3.0**

A validação da ferramenta computacional ocorre através dos estudos de casos reais ocorridos em campo e vinculados à concessionária CEMIG, cujas análises foram feitas com vistas à validação dos procedimentos sistematizados



através do aplicativo APR 3.0 CEMIG, utilizando-se de uma interface para integração com o banco de dados da concessionária de energia elétrica.

### **E) Melhoria da qualidade do serviço prestado**

Deve-se ressaltar que o produto principal desta pesquisa, materializado em um software de análise de PID's, contribuirá decisivamente para a sistematização do processo de análise, agilização dos processos internos, melhoria da qualidade, precisão e confiabilidade do serviço e da imagem da empresa e estabelecimento de uma metodologia de análise com base científica, que possa ser mais justa para consumidores e concessionária.

## **1.4 Estrutura da Dissertação**

Em consonância com o exposto, além do presente capítulo introdutório, esta dissertação é desenvolvida obedecendo à seguinte estrutura:

### **Capítulo II - Levantamento Estatístico sobre Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos**

Este capítulo tem por objetivo abordar, de forma geral, algumas informações coletadas à partir das solicitações de ressarcimento, bem como os principais distúrbios elétricos e os principais eletroeletrônicos que originaram os PID's. Estas constatações foram fornecidas pela concessionária de energia elétrica CEMIG Distribuição S.A em suas regionais do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no período de 01/2008 à 09/2010.

### **Capítulo III - Ensaios de Suportabilidade Térmica e Dielétrica de Televisores**

Este capítulo tem por objetivo propor uma estratégia de uma estrutura laboratorial com vistas à obtenção de curvas típicas de suportabilidade dielétrica e térmica para televisores. As curvas assim obtidas e que refletem os limites de suportabilidade são aquelas inseridas e disponibilizadas na nova versão do aplicativo computacional para Análise de Pedidos de Ressarcimento, ou seja, APR-3.0- CEMIG.

### **Capítulo IV Curvas de Suportabilidade dos Televisores e Estudo de Casos**

Essa seção destina-se a apresentar as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica dos televisores, utilizando-se o aplicativo computacional versão APR-3.0-CEMIG para simulação de casos reais de pedidos de ressarcimentos de danos.

O resultado obtido pelo programa permite a comparação entre as curvas obtidas nessa dissertação com a curva de suportabilidade dielétrica ITIC e as solicitações dielétricas e térmicas impostas ao equipamento.

A decisão pelo ressarcimento é tomada pela concessionária através de seus procedimentos convencionais, de forma a verificar se o pedido de indenização é realmente procedente ou não.

Adicionalmente, esta secção apresenta os resultados dos impactos térmicos e dielétricos impostos aos televisores sob a ação de dispositivos mitigadores (DPS's), os quais foram ensaiados.

## **CAPÍTULO V CONCLUSÕES GERAIS**

Este capítulo destina-se a sintetizar as análises e discussões sobre os principais resultados e constatações feitas durante o desenvolvimento desta dissertação.

## **CAPÍTULO II**

---

### **Levantamento estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos**

#### **2.1 – Considerações iniciais**

Nas duas últimas décadas, o modelo do setor elétrico brasileiro sofreu grandes mudanças que abrangem desde a desverticalização das empresas, revisões tarifárias, mercado livre, novos indicadores de continuidade, direitos e deveres dos clientes.

As empresas foram obrigadas a separarem as suas atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, assim como a se prepararem para atendimento de melhor qualidade e em prazos mais curtos para uma maior satisfação dos seus clientes.

Além das mudanças impostas pelo novo modelo do setor elétrico, o crescimento da economia brasileira está proporcionando um aumento do poder aquisitivo dos brasileiros. Pode-se notar o aumento de vendas e utilização de equipamentos eletroeletrônicos, exigindo a criação de portarias ao longo do tempo, para tratarem da questão relativa aos ressarcimentos a clientes por danos causados aos seus equipamentos, através de distúrbios advindos da rede elétrica. Assim, desponta uma nova área conhecida por PID “Pedidos de Indenização por Danos”.

Nesse cenário, tornou-se imperiosa a busca por maiores conhecimentos por parte das concessionárias do setor elétrico, devido a complexidade do assunto, a necessidade de se aprofundarem nas questões de qualidade de energia elétrica e na suportabilidade dos equipamentos, para consolidarem um modelo de análise que seja prático, objetivo e justo. Assim, o levantamento estatístico dos pedidos de ressarcimento torna-se de grande importância no avanço das pesquisas, elencando e estratificando os equipamentos danificados por tipo, marca, modelo e tempo de uso. Nesta análise também são obtidas as informações sobre os principais distúrbios elétricos que originam as solicitações de indenização.

Deste modo, este capítulo apresenta o levantamento estatístico fornecido pela CEMIG Distribuição S.A., com informações das suas regionais do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Este levantamento realiza uma comparação entre o custo financeiro e a quantidade indenizada de cada produto, correspondente ao período de 2008 a 2010. Adicionalmente, permite caracterizar os principais produtos e os impactos de distúrbios ocorridos na rede elétrica.

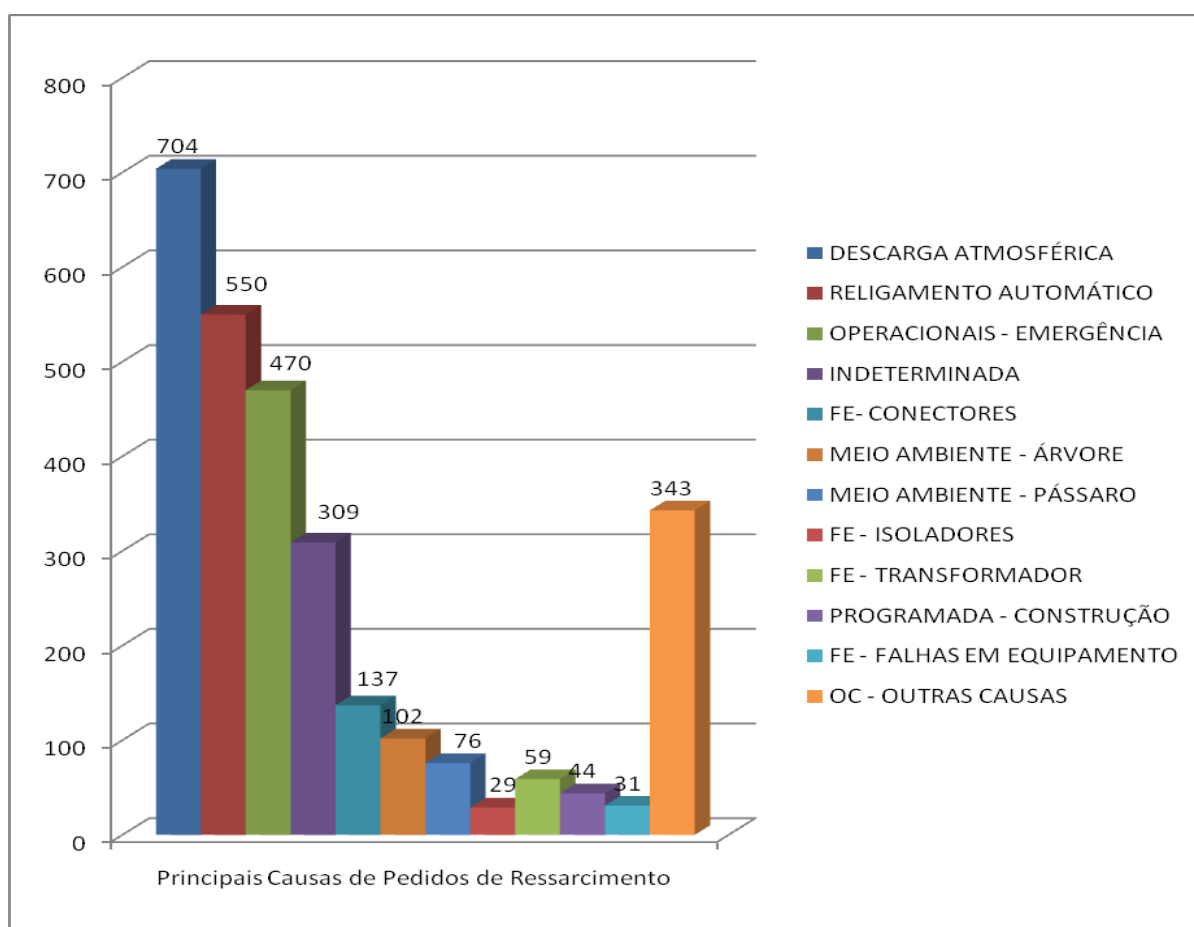
Dentro deste contexto, pode-se facilmente a partir da observação de figuras e tabelas, realizar os comentários visando destacar os principais equipamentos, bem como as marcas e os modelos mais envolvidos nos pedidos de ressarcimento por danos.

## **2.2 – Levantamentos quantitativos**

Dentro do exposto, são apresentadas informações obtidas da CEMIG Distribuição S.A, nos seus processos de ressarcimento que deram origem aos pedidos de indenização custeados pela concessionária no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

### **2.3 – Desembolsos financeiros em função dos fenômenos elétricos e causas que originaram os pedidos de ressarcimento de danos**

As figuras 2.1 e 2.2 mostram, respectivamente, a quantidade de equipamentos indenizados entre 2008 e 2010, e o custo financeiro para um determinado fenômeno elétrico que originou um pedido de ressarcimento. Como pode ser visto, as descargas atmosféricas e os religamentos automáticos configuram como as principais causas de pedidos de ressarcimento de danos à Cemig Distribuição S.A, regionais do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



*Figura 2.1 – Quantidade de equipamentos danificados por tipo de causas envolvidas nos processos*

## CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos

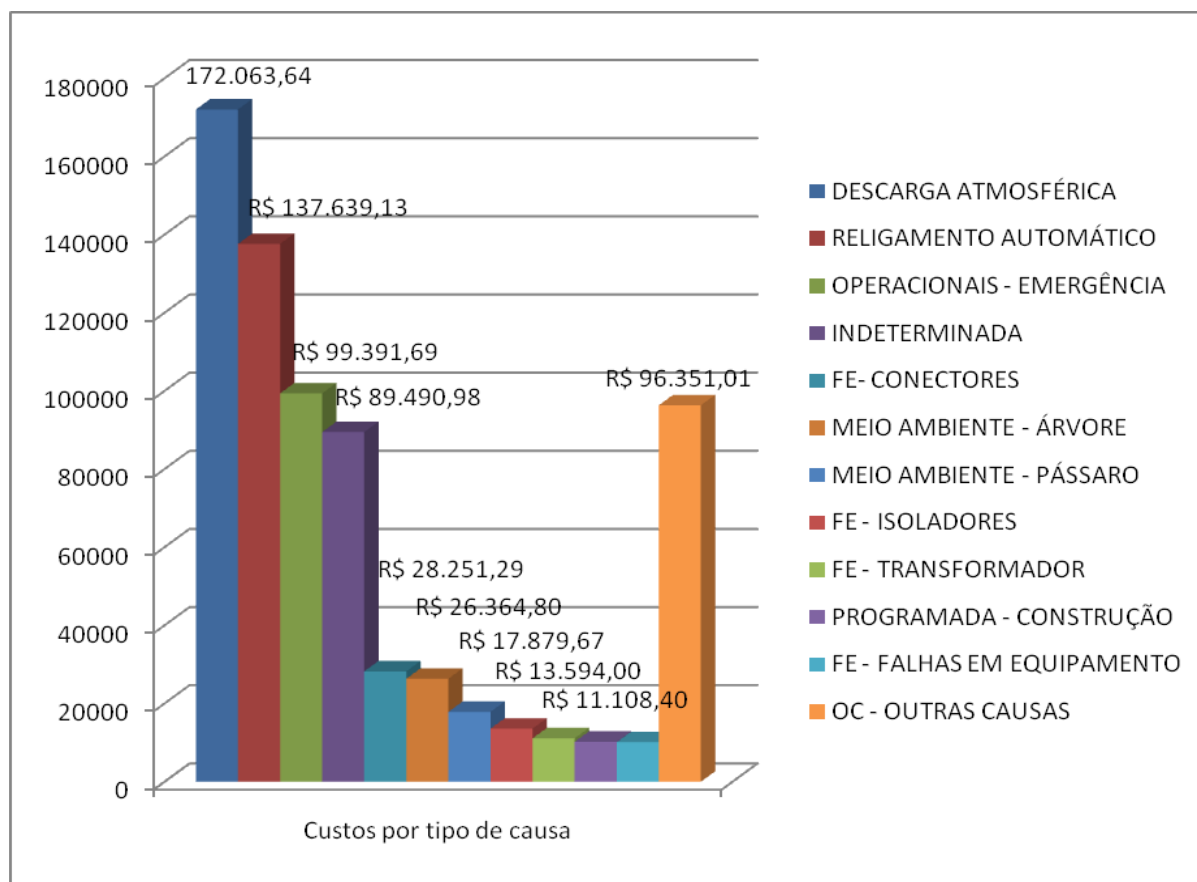


Figura 2.2 – Custos financeiros por tipo de causas envolvidas nos processos de ressarcimento

Deve-se salientar que 2.854 equipamentos eletroeletrônicos foram indenizados e originaram um ressarcimento total de R\$ 712.481,90.

### 2.3.1 – Desembolso financeiro por equipamento

A seguir, apresenta-se na figura 2.3 a quantidade por tipo de equipamentos que foram indenizados devido a algum distúrbio na rede elétrica da CEMIG D, enquanto que a figura 2.4 indica os custos financeiros associados com os pedidos de ressarcimento.

Assim, observa-se que os televisores aparecem como o principal produto eletrônico objeto de ressarcimento.

## CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos

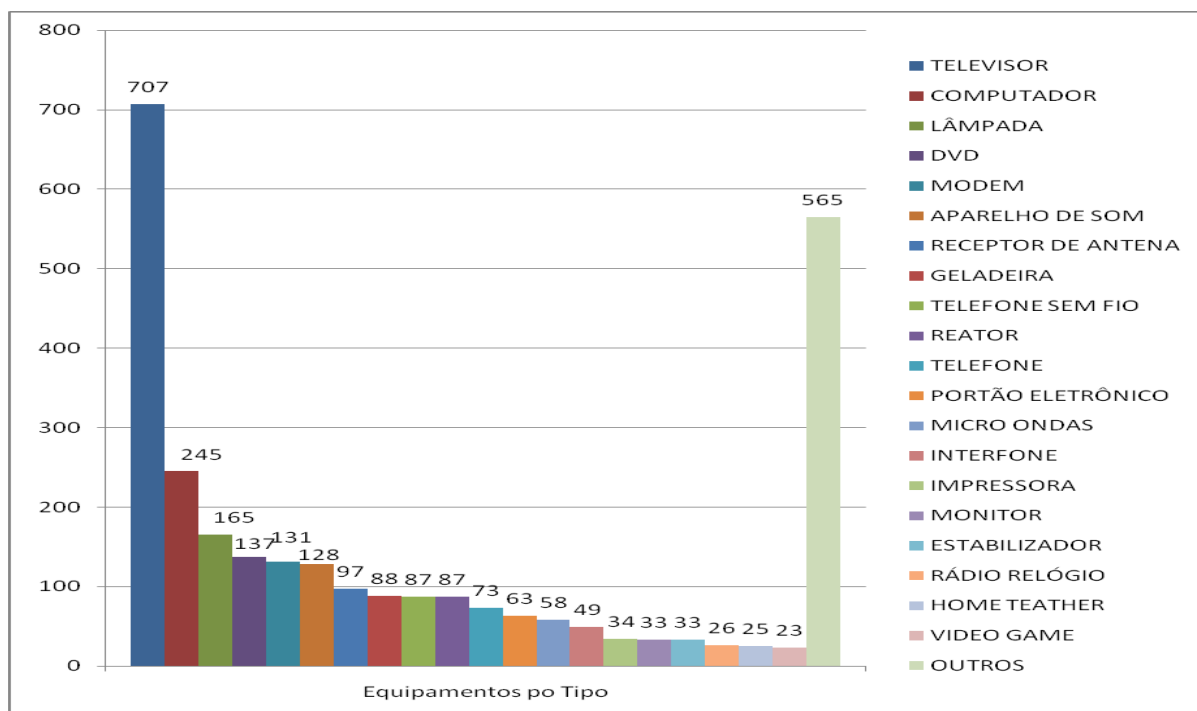


Figura 2.3 – Quantidade de equipamentos indenizados por tipo

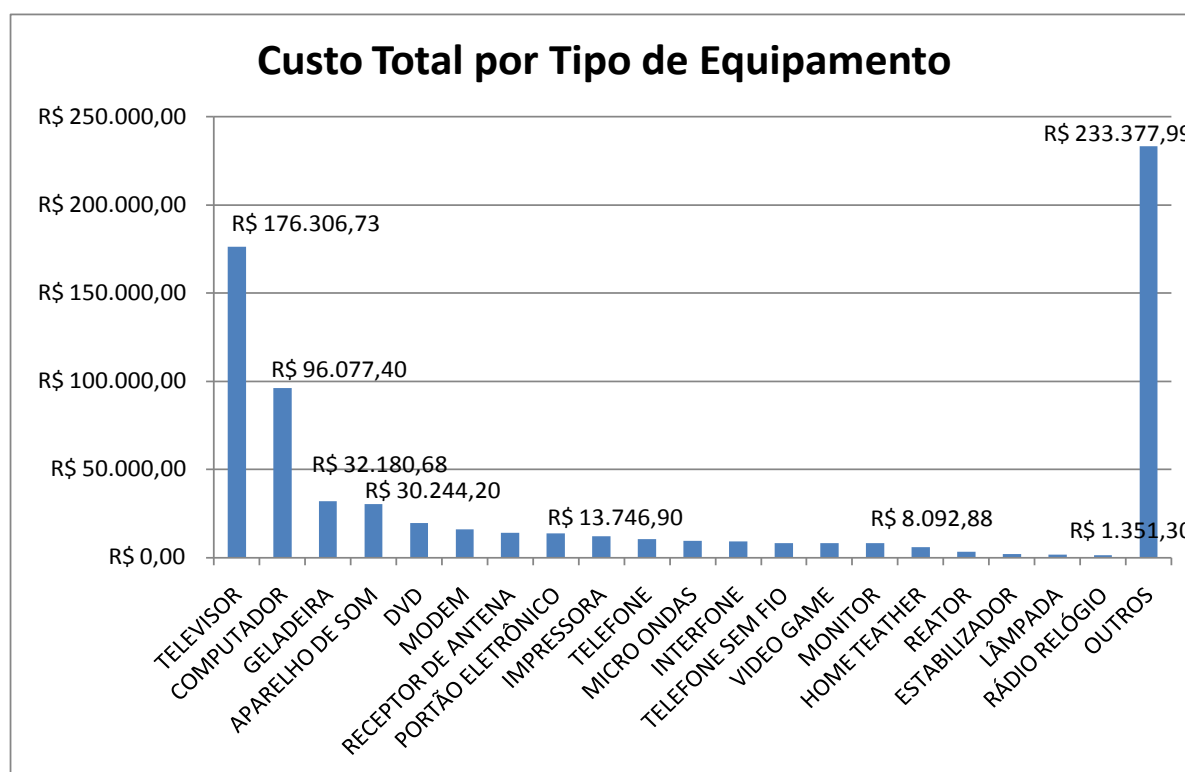


Figura 2.4 – Tipos de equipamentos indenizados e custos associados no processo de ressarcimento



Deve-se salientar que o valor total associado às indenizações é de R\$ 712.481,90. Deste total, percebe-se que o aparelho de TV contribuiu com valores financeiros de R\$ 176.306,73, ou seja, aproximadamente 25% do valor total das indenizações, mesmo percentual em relação à quantidade de equipamentos que tiveram solicitação de ressarcimento. Observa-se também um custo médio de reparo nos televisores indenizados da ordem de R\$ 249,37.

### 2.3.2 - APARELHO DE TV

As figuras 2.5 e 2.6 identificam, respectivamente, a quantidade por marca de aparelhos televisores e o custo total indenizado.

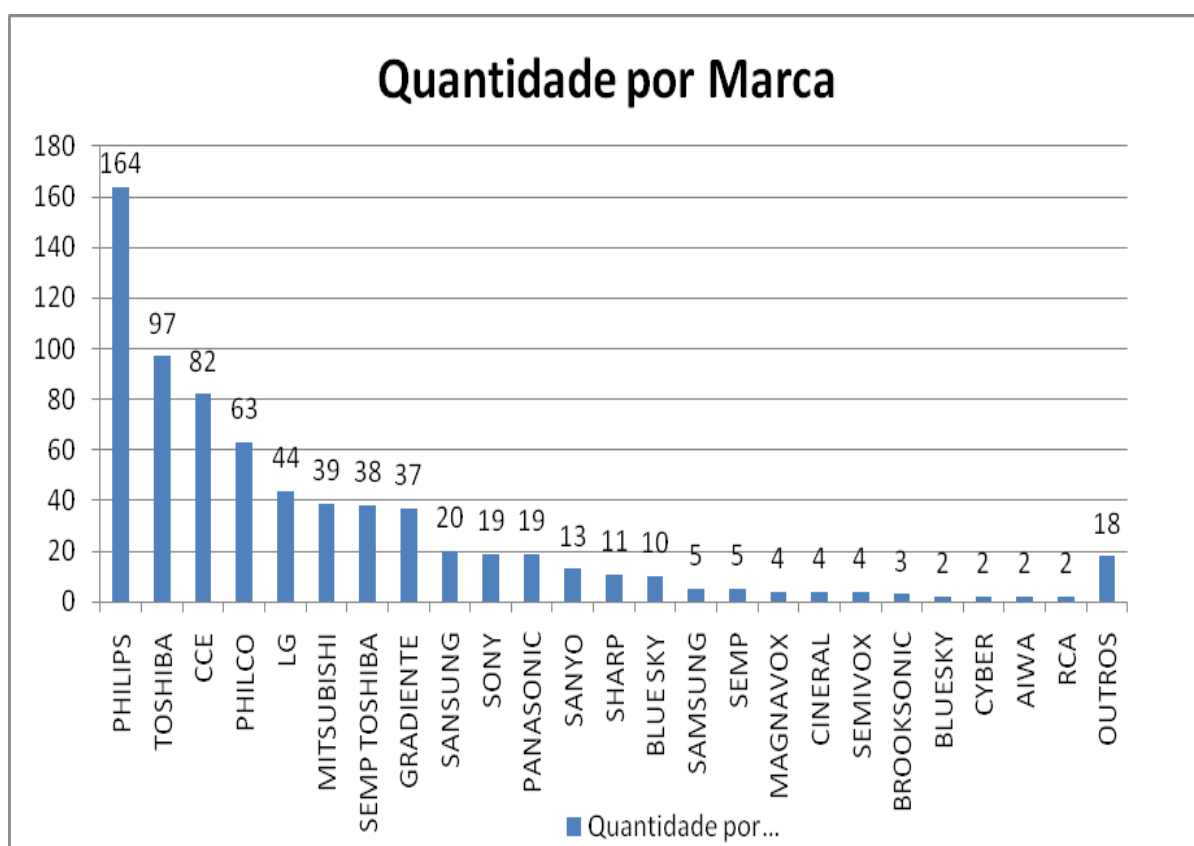


Figura 2.5 – Aparelhos de TV classificados quanto à marca indenizada

## CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos

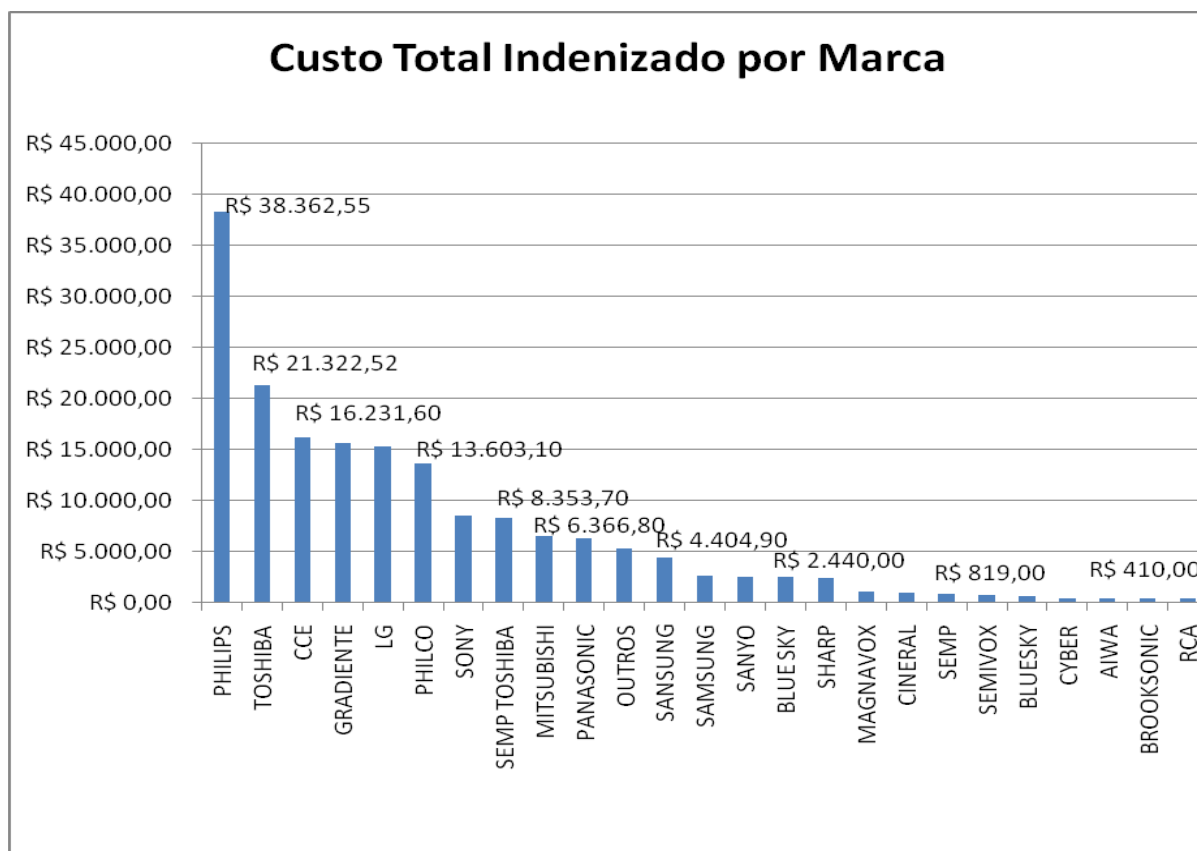


Figura 2.6 – Custo total dos aparelhos de TV indenizados por marca

A título de ilustração, a tabela 2.1 apresenta uma classificação dos televisores em função das suas dimensões em polegadas, marcas, quantidades e custos financeiros atrelados aos pedidos de indenização.

Tabela 2.1 – Aparelhos de TV classificados quanto ao tamanho em polegadas

| EQUIPAMENTO | POLEGADAS | MARCA      | QTDE | CUSTO TOTAL  | CUSTO MÉDIO |
|-------------|-----------|------------|------|--------------|-------------|
| TELEVISOR   | N/D       |            | 1    | R\$ 175,00   | R\$ 175,00  |
| TELEVISOR   | 20P       |            | 1    | R\$ 160,00   | R\$ 160,00  |
| TELEVISOR   | N/D       | ADVET      | 1    | R\$ 318,00   | R\$ 318,00  |
| TELEVISOR   | 53P       | AIKO       | 1    | R\$ 65,00    | R\$ 65,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | AIKO       | 1    | R\$ 208,00   | R\$ 208,00  |
| TELEVISOR   | 20P       | AIWA       | 2    | R\$ 452,30   | R\$ 226,15  |
| TELEVISOR   | N/D       | BLUE SKY   | 1    | R\$ 125,80   | R\$ 125,80  |
| TELEVISOR   | 29P       | BLUE SKY   | 7    | R\$ 2.213,00 | R\$ 316,14  |
| TELEVISOR   | 20P       | BLUE SKY   | 2    | R\$ 358,00   | R\$ 179,00  |
| TELEVISOR   | 14P       | BLUE SKY   | 1    | R\$ 208,30   | R\$ 208,30  |
| TELEVISOR   | 29P       | BLUES KY   | 1    | R\$ 281,00   | R\$ 281,00  |
| TELEVISOR   | 14P       | BROKOSONIC | 1    | R\$ 119,00   | R\$ 119,00  |
| TELEVISOR   | N/D       | BROOKSONIC | 1    | R\$ 143,00   | R\$ 143,00  |

**CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos**

| <b>EQUIPAMENTO</b> | <b>POLEGADAS</b> | <b>MARCA</b> | <b>QTDE</b> | <b>CUSTO TOTAL</b> | <b>CUSTO MÉDIO</b> |
|--------------------|------------------|--------------|-------------|--------------------|--------------------|
| TELEVISOR          | 20P              | BROOKSONIC   | 1           | R\$ 146,00         | R\$ 146,00         |
| TELEVISOR          | 14P              | BROOKSONIC   | 1           | R\$ 121,00         | R\$ 121,00         |
| TELEVISOR          | N/D              | CCE          | 6           | R\$ 661,00         | R\$ 110,17         |
| TELEVISOR          | N/D              | CCE          | 1           | R\$ 301,00         | R\$ 301,00         |
| TELEVISOR          | 34P              | CCE          | 1           | R\$ 300,00         | R\$ 300,00         |
| TELEVISOR          | 32P              | CCE          | 1           | R\$ 346,00         | R\$ 346,00         |
| TELEVISOR          | 29P              | CCE          | 32          | R\$ 7.632,40       | R\$ 238,51         |
| TELEVISOR          | 21P              | CCE          | 16          | R\$ 2.766,00       | R\$ 172,88         |
| TELEVISOR          | 20P              | CCE          | 21          | R\$ 3.528,50       | R\$ 168,02         |
| TELEVISOR          | 14P              | CCE          | 5           | R\$ 846,70         | R\$ 169,34         |
| TELEVISOR          | 29P              | CINERAL      | 3           | R\$ 875,00         | R\$ 291,67         |
| TELEVISOR          | 20P              | CINERAL      | 1           | R\$ 156,00         | R\$ 156,00         |
| TELEVISOR          | 34P              | CYBER        | 1           | R\$ 268,00         | R\$ 268,00         |
| TELEVISOR          | 29P              | CYBER        | 1           | R\$ 194,00         | R\$ 194,00         |
| TELEVISOR          | 29P              | FIRST LINE   | 1           | R\$ 192,00         | R\$ 192,00         |
| TELEVISOR          | N/D              | GRADIENTE    | 2           | R\$ 1.750,00       | R\$ 875,00         |
| TELEVISOR          | 42P              | GRADIENTE    | 2           | R\$ 4.810,00       | R\$ 2.405,00       |
| TELEVISOR          | 29P              | GRADIENTE    | 17          | R\$ 4.022,80       | R\$ 236,64         |
| TELEVISOR          | 27P              | GRADIENTE    | 1           | R\$ 1.826,00       | R\$ 1.826,00       |
| TELEVISOR          | 21P              | GRADIENTE    | 1           | R\$ 236,00         | R\$ 236,00         |
| TELEVISOR          | 20P              | GRADIENTE    | 10          | R\$ 1.949,90       | R\$ 194,99         |
| TELEVISOR          | 14P              | GRADIENTE    | 4           | R\$ 1.008,00       | R\$ 252,00         |
| TELEVISOR          | 20P              | GRUNDIG      | 1           | R\$ 235,00         | R\$ 235,00         |
| TELEVISOR          | 32P              | H-BUSTER     | 1           | R\$ 1.300,00       | R\$ 1.300,00       |
| TELEVISOR          | 29P              | JVC          | 1           | R\$ 328,50         | R\$ 328,50         |
| TELEVISOR          | 29P              | KILEY        | 1           | R\$ 112,00         | R\$ 112,00         |
| TELEVISOR          | N/D              | LG           | 1           | R\$ 189,00         | R\$ 189,00         |
| TELEVISOR          | 50P              | LG           | 1           | R\$ 700,00         | R\$ 700,00         |
| TELEVISOR          | 44P              | LG           | 1           | R\$ 850,00         | R\$ 850,00         |
| TELEVISOR          | 42P              | LG           | 2           | R\$ 3.123,00       | R\$ 1.561,50       |
| TELEVISOR          | 32P              | LG           | 2           | R\$ 1.464,00       | R\$ 732,00         |
| TELEVISOR          | 29P              | LG           | 18          | R\$ 5.241,40       | R\$ 291,19         |
| TELEVISOR          | 21P              | LG           | 7           | R\$ 1.546,00       | R\$ 220,86         |
| TELEVISOR          | 20P              | LG           | 10          | R\$ 1.878,50       | R\$ 187,85         |
| TELEVISOR          | 14P              | LG           | 2           | R\$ 353,00         | R\$ 176,50         |
| TELEVISOR          | 29P              | MAGNAVOX     | 3           | R\$ 788,00         | R\$ 262,67         |
| TELEVISOR          | 16P              | MAGNAVOX     | 1           | R\$ 340,00         | R\$ 340,00         |
| TELEVISOR          | 29P              | MAQ KW       | 1           | R\$ 178,00         | R\$ 178,00         |
| TELEVISOR          | 21P              | MIDI LCD     | 1           | R\$ 613,00         | R\$ 613,00         |
| TELEVISOR          | N/D              | MITSUBISHI   | 5           | R\$ 832,00         | R\$ 166,40         |
| TELEVISOR          | 29P              | MITSUBISHI   | 6           | R\$ 1.256,90       | R\$ 209,48         |
| TELEVISOR          | 20P              | MITSUBISHI   | 23          | R\$ 3.646,60       | R\$ 158,55         |
| TELEVISOR          | 14P              | MITSUBISHI   | 5           | R\$ 789,80         | R\$ 157,96         |
| TELEVISOR          | 14P              | NATIONAL     | 1           | R\$ 106,30         | R\$ 106,30         |
| TELEVISOR          | 39P              | PANASONIC    | 1           | R\$ 239,00         | R\$ 239,00         |

**CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos**

| EQUIPAMENTO | POLEGADAS | MARCA        | QTDE | CUSTO TOTAL   | CUSTO MÉDIO  |
|-------------|-----------|--------------|------|---------------|--------------|
| TELEVISOR   | 29P       | PANASONIC    | 9    | R\$ 2.170,50  | R\$ 241,17   |
| TELEVISOR   | 20P       | PANASONIC    | 6    | R\$ 998,00    | R\$ 166,33   |
| TELEVISOR   | 19P       | PANASONIC    | 1    | R\$ 111,30    | R\$ 111,30   |
| TELEVISOR   | 14P       | PANASONIC    | 2    | R\$ 2.848,00  | R\$ 1.424,00 |
| TELEVISOR   | N/D       | PHILCO       | 3    | R\$ 377,90    | R\$ 125,97   |
| TELEVISOR   | 29P       | PHILCO       | 25   | R\$ 7.471,30  | R\$ 298,85   |
| TELEVISOR   | 27P       | PHILCO       | 1    | R\$ 187,00    | R\$ 187,00   |
| TELEVISOR   | 21P       | PHILCO       | 5    | R\$ 1.020,00  | R\$ 204,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | PHILCO       | 21   | R\$ 3.020,60  | R\$ 143,84   |
| TELEVISOR   | 14P       | PHILCO       | 7    | R\$ 1.281,30  | R\$ 183,04   |
| TELEVISOR   | N/D       | PHILIPS      | 9    | R\$ 2.201,80  | R\$ 244,64   |
| TELEVISOR   | HC052736  | PHILIPS      | 1    | R\$ 200,00    | R\$ 200,00   |
| TELEVISOR   | 42P       | PHILIPS      | 2    | R\$ 2.633,70  | R\$ 1.316,85 |
| TELEVISOR   | 33P       | PHILIPS      | 1    | R\$ 150,00    | R\$ 150,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | PHILIPS      | 56   | R\$ 15.588,20 | R\$ 278,36   |
| TELEVISOR   | 25P       | PHILIPS      | 3    | R\$ 785,00    | R\$ 261,67   |
| TELEVISOR   | 21P       | PHILIPS      | 16   | R\$ 3.080,00  | R\$ 192,50   |
| TELEVISOR   | 20P       | PHILIPS      | 48   | R\$ 9.331,89  | R\$ 194,41   |
| TELEVISOR   | 17P       | PHILIPS      | 1    | R\$ 95,00     | R\$ 95,00    |
| TELEVISOR   | 16P       | PHILIPS      | 2    | R\$ 215,80    | R\$ 107,90   |
| TELEVISOR   | 14P       | PHILIPS      | 22   | R\$ 3.590,16  | R\$ 163,19   |
| TELEVISOR   |           | PHILIPS      | 1    | R\$ 156,00    | R\$ 156,00   |
| TELEVISOR   | N/D       | PROELETRONIC | 1    | R\$ 460,00    | R\$ 460,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | PROVIEW      | 1    | R\$ 322,00    | R\$ 322,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | RCA          | 2    | R\$ 394,80    | R\$ 197,40   |
| TELEVISOR   | N/D       | SAMSUNG      | 5    | R\$ 1.294,20  | R\$ 258,84   |
| TELEVISOR   | 42P       | SAMSUNG      | 1    | R\$ 1.630,00  | R\$ 1.630,00 |
| TELEVISOR   | 34P       | SAMSUNG      | 1    | R\$ 377,00    | R\$ 377,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | SAMSUNG      | 3    | R\$ 684,30    | R\$ 228,10   |
| TELEVISOR   | 21P       | SAMSUNG      | 5    | R\$ 1.245,66  | R\$ 249,13   |
| TELEVISOR   | 20P       | SAMSUNG      | 6    | R\$ 1.129,10  | R\$ 188,18   |
| TELEVISOR   | 14P       | SAMSUNG      | 4    | R\$ 668,30    | R\$ 167,08   |
| TELEVISOR   | N/D       | SANYO        | 1    | R\$ 268,00    | R\$ 268,00   |
| TELEVISOR   | CTP-6791P | SANYO        | 1    | R\$ 180,00    | R\$ 180,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | SANYO        | 3    | R\$ 618,00    | R\$ 206,00   |
| TELEVISOR   | 27P       | SANYO        | 1    | R\$ 206,00    | R\$ 206,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | SANYO        | 6    | R\$ 1.094,00  | R\$ 182,33   |
| TELEVISOR   | 14P       | SANYO        | 1    | R\$ 198,00    | R\$ 198,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | SEMIVOX      | 1    | R\$ 231,00    | R\$ 231,00   |
| TELEVISOR   | 14P       | SEMIVOX      | 3    | R\$ 521,00    | R\$ 173,67   |
| TELEVISOR   | 29P       | SHARP        | 2    | R\$ 757,00    | R\$ 378,50   |
| TELEVISOR   | 20P       | SHARP        | 5    | R\$ 1.002,00  | R\$ 200,40   |
| TELEVISOR   | 14P       | SHARP        | 4    | R\$ 681,00    | R\$ 170,25   |
| TELEVISOR   | N/D       | SONY         | 3    | R\$ 1.389,00  | R\$ 463,00   |
| TELEVISOR   | 50P       | SONY         | 1    | R\$ 980,00    | R\$ 980,00   |

---

## CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos

---

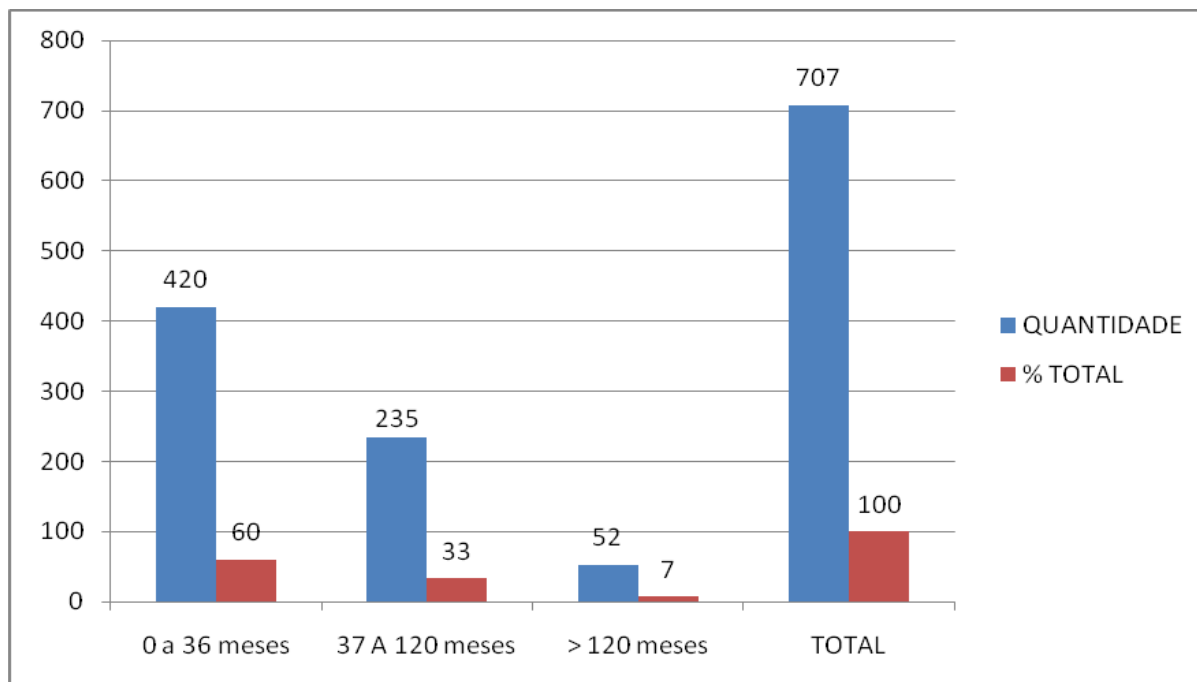
| EQUIPAMENTO | POLEGADAS | MARCA      | QTDE | CUSTO TOTAL    | CUSTO MÉDIO  |
|-------------|-----------|------------|------|----------------|--------------|
| TELEVISOR   | 32P       | SONY       | 2    | R\$ 2.510,00   | R\$ 1.255,00 |
| TELEVISOR   | 29P       | SONY       | 8    | R\$ 2.705,00   | R\$ 338,13   |
| TELEVISOR   | 21P       | SONY       | 2    | R\$ 326,00     | R\$ 163,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | SONY       | 2    | R\$ 456,00     | R\$ 228,00   |
| TELEVISOR   | 14P       | SONY       | 1    | R\$ 203,00     | R\$ 203,00   |
| TELEVISOR   | 35P       | TOSHIBA    | 1    | R\$ 50,00      | R\$ 50,00    |
| TELEVISOR   | N/D       | TOSHIBA    | 7    | R\$ 1.106,30   | R\$ 158,04   |
| TELEVISOR   | 34P       | TOSHIBA    | 1    | R\$ 467,00     | R\$ 467,00   |
| TELEVISOR   | 32P       | TOSHIBA    | 1    | R\$ 323,00     | R\$ 323,00   |
| TELEVISOR   | 29P       | TOSHIBA    | 57   | R\$ 14.362,30  | R\$ 251,97   |
| TELEVISOR   | 21P       | TOSHIBA    | 16   | R\$ 3.672,40   | R\$ 229,53   |
| TELEVISOR   | 20P       | TOSHIBA    | 42   | R\$ 7.292,92   | R\$ 173,64   |
| TELEVISOR   | 14P       | TOSHIBA    | 8    | R\$ 1.413,00   | R\$ 176,63   |
| TELEVISOR   | N/D       | TOSHIBA    | 4    | R\$ 606,30     | R\$ 151,58   |
| TELEVISOR   | 42P       | TOSHIBA    | 1    | R\$ 740,00     | R\$ 740,00   |
| TELEVISOR   | 34P       | TOSHIBA TR | 1    | R\$ 384,00     | R\$ 384,00   |
| TELEVISOR   | 16P       | TOSHIBA    | 2    | R\$ 368,00     | R\$ 184,00   |
| TELEVISOR   | 21P       | ZENITH     | 1    | R\$ 160,00     | R\$ 160,00   |
| TELEVISOR   | 20P       | ZENITH     | 2    | R\$ 445,00     | R\$ 222,50   |
|             |           |            | 707  | R\$ 176.306,73 | R\$ 249,37   |

*Tabela 2.1 – Aparelhos de TV classificados quanto ao tamanho em polegadas*

Dentro do exposto, percebe-se que as marcas CCE, Gradiente, LG, Mitsubishi, Panasonic, Philips, Philco e Toshiba de 20 e 29 polegadas, representam a maioria, ou seja, sessenta e três por cento (63%) dos pedidos de ressarcimento de danos.

A figura 2.7 identifica a quantidade de televisores danificados em função dos distúrbios no sistema elétrico, classificando-os por tempo de uso.

Para facilitar a visualização, aglutinam-se os dados estatísticos em três (3) períodos de tempo.



*Figura 2.7 – Aparelhos de TV indenizados e classificados quanto ao tempo de uso em meses – Resumo*

Observa-se na figura 2.7, que 60% dos televisores que tiveram solicitação de ressarcimento possuíam até 36 meses de tempo de uso.

## **2.4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conforme mencionado anteriormente, a obtenção de um levantamento estatístico associado aos pedidos de ressarcimento, caracterizando os produtos e suas respectivas marcas, é de grande valia para a verificação da necessidade de estudos avaliativos do desempenho de determinados equipamentos diante de distúrbios na rede de distribuição.

Desta maneira, após a análise dos gráficos e tabela apresentados, conclui-se que as descargas atmosféricas e os religamentos automáticos constam como as principais causas de reclamação dos consumidores à concessionária, associadas aos pedidos de ressarcimento de danos.

---

## **CAPITULO II – Levantamento Estatístico sobre ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos**

---

Com relação aos equipamentos presentes em grande parte dos pedidos procedentes de ressarcimento, observa-se a grande presença dos aparelhos de TV, microcomputadores, aparelhos de som e DVD's. Os televisores respondem tanto quantitativamente, quanto financeiramente por 25% dos ressarcimentos feitos pela Cemig Distribuição S.A. nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, entre 2008 e 2010.

Isto talvez possa ser justificado pelo fato de que os televisores estão entre os eletroeletrônicos mais utilizados na atualidade e estão em cerca de 95% dos lares brasileiros, segundo o censo do IBGE 2010.

Devido a sua presença maciça nas residências, também são os eletroeletrônicos mais constantes nos pedidos procedentes de ressarcimento.

Ainda sobre os televisores, nota-se que as marcas que mais aparecem nos processos de ressarcimento da concessionária em questão, são CCE, Gradiente, LG, Mitsubishi, Panasonic, Philips, Philco e Toshiba de 20 e 29 polegadas e com tempo médio de uso de até 36 meses. Nenhuma análise pode ser feita a esse estudo estatístico quanto à qualidade dos produtos das referidas marcas. Muito provavelmente, aqui aparecem, pela grande presença dessas marcas nos lares brasileiros.

## CAPÍTULO III

---

### Ensaaios de suportabilidade térmica e dielétrica de televisores

---

#### 3.1 – Considerações iniciais

A constante evolução tecnológica tem beneficiado os aparelhos de TV com melhor reprodução de imagem e de som, através do aperfeiçoamento dos circuitos microeletrônicos.

Portanto, para garantir o bom funcionamento do mesmo, é necessário assegurar que seus circuitos internos operem com adequados níveis de tensão e corrente.

A interface entre a rede de energia elétrica da concessionária e os circuitos internos do aparelho de TV, que faz a “conexão” destas grandezas elétricas, constitui-se numa fonte do tipo chaveada.

Desta maneira, esta unidade se torna o elemento de maior importância, no que tange a investigação da suportabilidade e sensibilidade do televisor, frente aos distúrbios da rede de energia elétrica.

Portanto, para a análise da suportabilidade térmica e dielétrica dos televisores, torna-se imperiosa a utilização de modelos computacionais das referidas fontes de alimentação.

Contudo, esse trabalho foi desenvolvido a partir da validação de modelos computacionais amplamente explorados nas referências [7,8,9,10] e no Projeto



de Pesquisa e Desenvolvimento entre Cemig Distribuição S.A. e Universidade Federal de Uberlândia, P&D – 238 [11, 12, 13].

Dentro deste contexto, esse capítulo segue na direção de complementar as referências citadas, possibilitando definir, analisar, apresentar e estudar as solicitações dielétricas e térmicas impostas aos televisores, visando a construção de suas respectivas curvas de suportabilidade.

Adicionalmente, pode-se observar no seu conteúdo a possibilidade de danos físicos aos aparelhos de TV. Para atingir esses objetivos, este capítulo contempla os seguintes assuntos a serem abordados:

- Conceitos;
- Metodologia para cálculo e quantificação dos indicadores das solicitações dielétricas e térmicas;
- Curvas de suportabilidade dielétrica existentes;
- Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial;
- Ensaios de sobretensões na frequência industrial;
- Ensaios laboratoriais associados com as sobretensões devido à queda dos cabos da média na baixa tensão;
- Ensaios destrutivos de impulso de tensão e corrente oriundos do fenômeno associado com as descargas atmosféricas, testando dispositivos de proteção contra surto (DPS).

Deve-se salientar que, os equipamentos ensaiados são televisores novos e usados, com atenção especial às marcas que se destacaram nos processos de ressarcimento da Cemig Distribuição, conforme levantamento descrito no capítulo II.

### **3.2 – Conceitos[7]**

Por sensibilidade entende-se como a continuidade operacional do dispositivo, ou seja, se seu funcionamento é afetado por algum tipo de ruído, alterações de imagem e/ou som, etc.

Já o conceito de suportabilidade operacional, entende-se pela descontinuidade do funcionamento do aparelho, podendo ou não acarretar danos físicos ao equipamento.

Por fim, conceitua-se o termo suportabilidade física quando se evidencia uma indesejável perda parcial ou total do equipamento, descontinuando o seu funcionamento. Isto significa que um ou mais componentes internos do aparelho teve o seu limite térmico ou dielétrico ultrapassados.

### **3.3 – Metodologia para cálculo e quantificação dos indicadores das solicitações dielétricas e térmicas [8]**

A metodologia aqui proposta fundamenta-se na determinação de duas grandezas, sendo que uma relaciona-se às exigências dielétricas e, a outra, às condições térmicas impostas ao equipamento, advindas de distúrbios que se propagam pela rede de energia elétrica.

Obtidos os limites das grandezas acima, as mesmas são comparadas com os níveis de suportabilidade dos equipamentos contemplados na análise.

Deste modo, os impactos de tensão devem ser avaliados à luz da suportabilidade dielétrica do produto e os relacionados com a corrente devem ser comparados com a suportabilidade térmica correspondente.

Obedecendo tal estratégia, apresentam-se, na sequência, os procedimentos para os cálculos dos indicadores dielétricos e térmicos associados com os

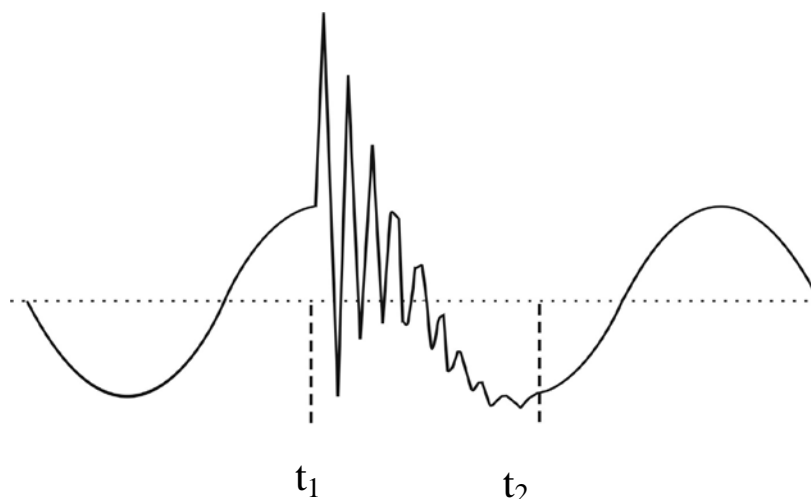
fenômenos ocorridos no ponto de conexão dos equipamentos, focados na análise dos pedidos de ressarcimento por danos.

#### **a) Solicitação dielétrica**

A figura 3.1 ilustra um fenômeno hipotético, o qual, como se constata, manifesta-se na forma de um transitório oscilatório.

O fenômeno, como indicado, persiste durante um intervalo de tempo compreendido entre os instantes  $t_1$  e  $t_2$ .

Também observa-se que durante o mencionado intervalo de tempo, os valores apresentam variações bastante acentuadas de amplitude.



*Figura 3.1 - Tensão de suprimento contendo um transitório oscilatório.*

Para a conversão do fenômeno mostrado em uma curva indicativa do comportamento da tensão ao longo do tempo, o procedimento adotado nesta pesquisa consiste em discretizar o período de duração do distúrbio e calcular, para cada instante, um indicador que represente o efeito cumulativo da tensão.

Em consonância com esta meta, o mencionado indicador pode ser calculado através da equação 3.1 [7], a qual possui, intrinsecamente, um significado físico similar ao cálculo do valor eficaz ao longo do tempo. Há, todavia, uma grande diferença em relação ao cálculo convencional do valor

eficaz, visto que este exigiria um intervalo de integração correspondente a um período completo da onda senoidal em 60 Hz.

De acordo com a proposta contida na equação 3.1, o intervalo de tempo é crescente, iniciando pelo instante em que o distúrbio se manifesta e sofrendo incrementos definidos pelo passo ( $\Delta t$ ) escolhido.

$$V_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n}} \quad (3.1)$$

onde:

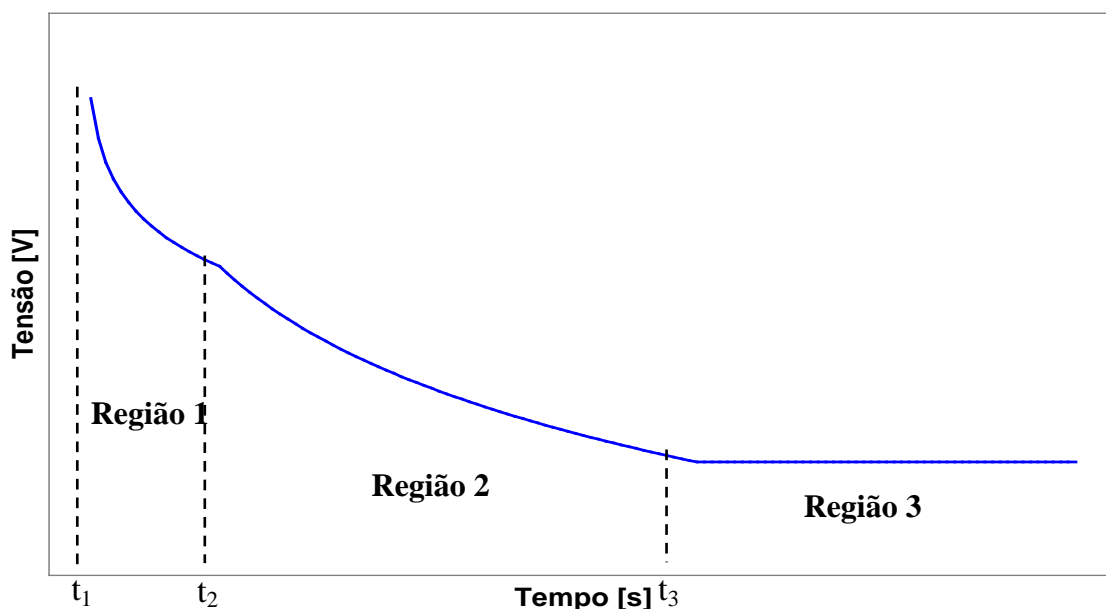
- $V_k$  - valor da solicitação dielétrica para um instante de tempo qualquer;
- $V_i$  - valor instantâneo da tensão para um instante de tempo qualquer;
- $n$  - número de amostras.

A expressão 3.1 fornece as informações necessárias à transformação das tensões impostas em curvas de solicitações dielétricas. Estas curvas, uma vez comparadas com os níveis de suportabilidade dos equipamentos, oferecem as diretrizes para um parecer conclusivo sobre a consistência dos danos em equipamentos, nos termos almejados por este trabalho.

Finalmente, deve-se ressaltar que a metodologia discutida pode ser diretamente aplicada a qualquer distúrbio que venha a se manifestar na tensão de suprimento, isto é: distorções harmônicas, variações de tensão de curta e longa duração, transitórios etc.

De uma forma geral, as curvas de suportabilidade dielétrica estão, em sua essência, atreladas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico. Tais dispositivos ficam submetidos às variações desta grandeza durante a ocorrência de eventuais distúrbios da qualidade da energia elétrica no sistema de suprimento, oferecendo, por conseguinte, dados apropriados ao processo de análise aqui proposto.

Conforme mencionado anteriormente, as curvas de suportabilidade dielétrica são modeladas através da composição de três funções que delimitam as regiões de suportabilidade física do equipamento, utilizando-se de duas funções logarítmicas e uma reta, como destacado na figura 3.2.



*Figura 3.2 – Modelagem da curva de suportabilidade dielétrica.*

- **Região 1:** Esta parte da curva está relacionada aos transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em um sistema elétrico e é detalhada com a amplitude do fenômeno e a sua duração.
- **Região 2:** Descreve a característica de suportabilidade de eventos que vão dos transitórios oscilatórios de baixa frequência, os quais possuem uma duração característica de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  ciclo, até os eventos de elevações de tensão com amplitudes de até 120% da tensão nominal RMS.
- **Região 3:** Esta região caracteriza as tolerâncias de regime permanente de forma a descrever uma tensão eficaz constante máxima de 10% do valor nominal por um período indefinido de tempo.

As distintas regiões que compõem a curva caracterizada na figura 3.2 são matematicamente descritas como:

- **Região 1:**  $V(t) = \alpha_1 \cdot \log t + \beta_1$  (3.2)

onde:

$$\alpha_1 = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad (3.3)$$

e:  $\beta_1 = V(t_1) - \alpha_1 \cdot \log t_1$  ou  $\beta_1 = V(t_2) - \alpha_1 \cdot \log t_2$  (3.4)

Sendo:

$V(t_1)$  – valor da tensão admitida pela TV durante um instante  $t_1$ ;

$V(t_2)$  – valor da tensão admitida pela TV durante um instante  $t_2$ .

- **Região 2:**  $V(t) = \alpha_2 \cdot \log t + \beta_2$  (3.5)

sendo:

$$\alpha_2 = \frac{V(t_3) - V(t_2)}{\log t_3 - \log t_2} \quad (3.6)$$

e  $\beta_2 = V(t_2) - \alpha_2 \cdot \log t_2$  ou  $\beta_2 = V(t_3) - \alpha_2 \cdot \log t_3$  (3.7)

Sendo:

$V(t_3)$  – valor da tensão admitida pela TV durante um instante  $t_3$ .

- **Região 3:**  $V(t) = \beta_3$  (3.8)

Onde  $\beta_3$  tem por significado o valor da tensão admitida pelo equipamento em regime permanente de operação.

**b) Solicitação térmica**

Quanto às curvas de suportabilidade térmica, não se encontrou nenhum documento que fizesse referência a esta questão.

Desta forma, considerando que os equipamentos normalmente possuem uma entrada caracterizada por uma fonte eletrônica, os problemas térmicos, quando manifestados, ocorrem nos componentes da mesma.

Isto posto, esse trabalho aprofunda nessa questão e avança no sentido de contribuir para o estabelecimento de uma metodologia para a definição da curva da suportabilidade térmica dos televisores. Assim, optou-se pela utilização do conceito da integral de joule ( $I^2t$ ), por representar os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma situação de sobrecorrente para qualquer intervalo de duração de um distúrbio.

A integral de Joule é uma grandeza que assume uma importância fundamental no estudo de fenômenos relacionados com pulso de corrente não senoidais de curta duração. Trata-se de uma ferramenta de grande utilidade no trabalho com problemas térmicos resultantes da circulação de correntes de alto valor e de curta duração, tais como, por exemplo, aquelas provenientes de faltas diretas e de descargas atmosféricas.

De fato, pela forma de onda de corrente, nos primeiros ciclos da corrente elétrica, seus efeitos não devem ser avaliados pelo seu valor eficaz. Assim, para os estudos térmicos desta corrente considerando tempos extremamente pequenos, não se pode separar a grandeza corrente, da grandeza de tempo, sendo necessário considerá-las em conjunto no produto integral, ou seja:

$$\int_0^t [i(t)]^2 \cdot dt = I^2t = J = cte \quad (3.9)$$

Sendo:

$i(t)$  – valor instantâneo da corrente num determinado instante de tempo  $t$ ;

J – Energia máxima admitida pelo equipamento, sendo constante para qualquer instante de tempo.

O conceito de integral de Joule foi introduzido para substituir o conceito de corrente simétrica porque representa os esforços térmicos e magnéticos reais impostos pelas correntes elevadas de curta duração. A integral de Joule fornece a energia específica ou a energia por unidade de resistência.

Assim, as unidades para a integral de Joule são: [ Joule/ohm=J/ohm] ou [A<sup>2</sup>s]. Para os estudos contemplados neste trabalho considera-se que a curva I<sup>2</sup>t corresponde à máxima energia suportável pelo equipamento, sendo constante em qualquer instante de tempo e calculada conforme a equação (3.9).

A figura 3.3 ilustra que esta grandeza é proporcional à área compreendida entre a curva  $i^2 = f(t)$  e o eixo das abscissas, podendo ser calculável ou mensurável para vários tipos de casos.

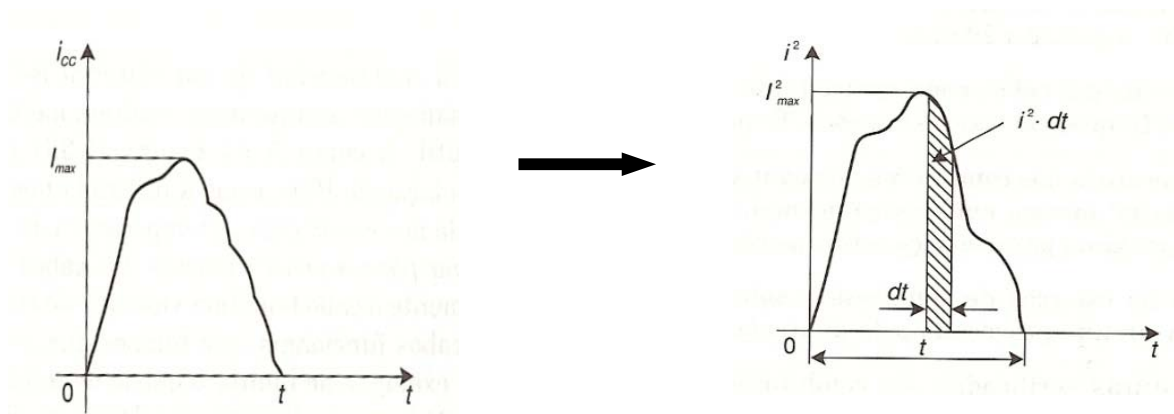


Figura 3.3 – Definição da Integral de Joule.

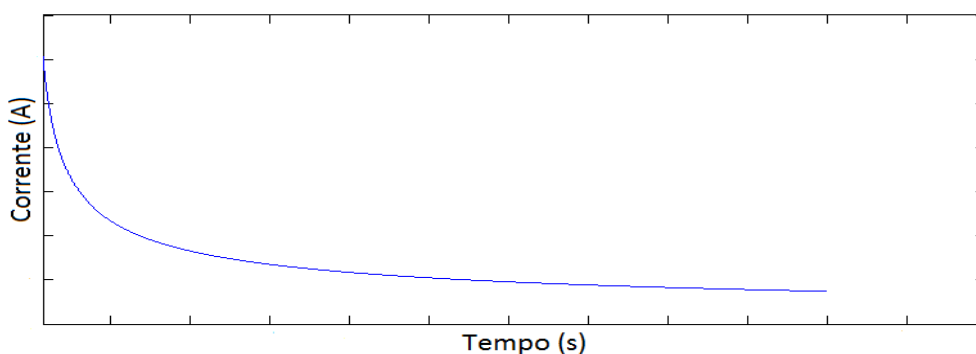
Após a determinação do valor da energia máxima admitida pelo equipamento, a curva de suportabilidade térmica é obtida pela equação 3.9 e reescrita conforme equações (3.10) e (3.11).

$$J = I^2 t \quad (3.10)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (3.11)$$



Desta forma, para fins de comparação com a curva de solicitação térmica, a equação (3.11) permite traçar a curva de suportabilidade térmica com os correspondentes parâmetros de corrente e tempo ( $I \times t$ ). A figura 3.4 ilustra uma curva de suportabilidade térmica típica definida pela integral de Joule.



*Figura 3.4 - Curva típica para a suportabilidade térmica de um equipamento.*

### **c) Considerações sobre as curvas típicas**

Para as figuras 3.2 e 3.4, envolvendo as curvas propostas de suportabilidade dielétrica e térmica, valem as seguintes observações:

- A curva delimita os níveis de tensão ou corrente que, estatisticamente, apresentam alta probabilidade de ocasionar danos físicos para a TV;
- O eixo vertical indica o valor da tensão ou corrente, enquanto que o eixo horizontal se refere ao tempo de duração do fenômeno;
- Caso o fenômeno ocorrido na rede elétrica conduza a valores de tensão ou corrente abaixo da curva indicada, então uma condição operacional sem riscos probabilísticos de danos teria ocorrido;
- Todavia, caso o distúrbio tenha conduzido a um ponto acima da curva, isto poderá ocasionar uma eventual falha do produto, justificando, assim, a procedência do pedido de ressarcimento pelo dano causado.

### **3.4 - Curvas de suportabilidade existentes**

O conceito de curva de suportabilidade de equipamentos eletrônicos foi introduzido em 1978 por Thomas Key, quando estudou a confiabilidade do suprimento de energia elétrica para instalações militares. Como resultado deste estudo foi criada a curva CBEMA, que fornece limites de tolerância para computadores no que tange a distúrbios de tensão no sistema elétrico.

Embora se reconheça a existência de procedimentos de testes de aprovação de produtos no âmbito das fábricas e algumas orientações gerais que determinam padrões mínimos a serem atendidos pelos mais distintos produtos comerciais disponibilizados no mercado, há de se destacar a inexistência de dados que ofereçam as informações requeridas pelos procedimentos propostos por este trabalho. De fato, dificilmente se consegue, na atualidade, os limites de suportabilidade dielétrica e térmica para os diferentes modelos de TV's que perfazem o contexto deste projeto.

A seguir, são mostradas curvas advindas de artigos técnicos já publicados em respeitáveis veículos de divulgação sendo, por tal motivo, consideradas confiáveis.

Estas referências serão identificadas na seqüência, conjuntamente com suas contribuições para os fins desta pesquisa.

#### **3.4.1– Curvas de suportabilidade dielétrica**

De uma forma geral, as curvas de suportabilidade dielétrica estão, em sua essência, atreladas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico. Tais dispositivos ficam submetidos às variações desta grandeza durante a ocorrência de eventuais distúrbios da qualidade da energia

elétrica no sistema de suprimento, oferecendo, por conseguinte, dados próprios ao processo de análise aqui proposto.

No que tange à questão dos limites de tensão, os documentos e referências encontradas permitiram extrair as seguintes orientações para a questão em pauta:

### **A – Curva ITIC [7]**

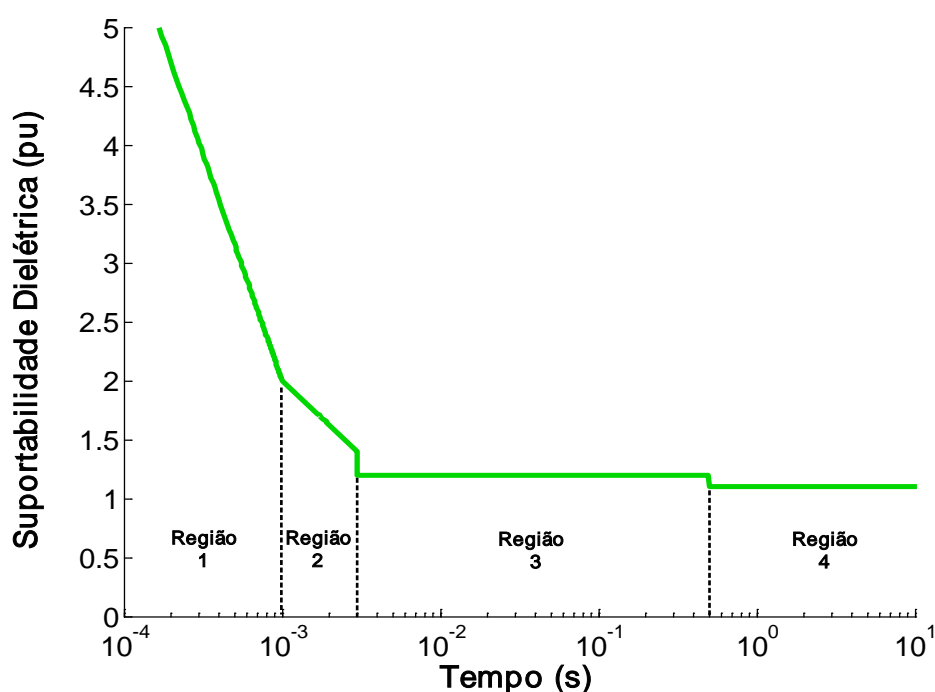
Apesar da curva CBEMA ter sido originalmente proposta para caracterizar a sensibilidade de computadores, a mesma tem sido também utilizada para outros equipamentos eletroeletrônicos. Desta forma, esta referência foi revisada e modificada para caracterizar melhor a sensibilidade destes equipamentos, surgindo, então a curva ITIC (Information Technology Industry Council).

A maioria das publicações relacionadas ao tema utiliza a curva ITIC, que estabelece uma região limítrofe dos níveis de tensão mínimos e máximos de tolerância física e operacional para os produtos. Esta referência contempla tanto condições transitórias quanto de regime permanente, associadas à suportabilidade de equipamentos frente a surtos de tensão e sobretensões, e também, relacionadas à sensibilidade destes dispositivos aos afundamentos e interrupções de tensão.

A figura 3.5 apresenta a curva ITIC relacionada com os níveis de suportabilidade física para equipamentos, que pode ser dividida em 4 (quatro) regiões de acordo com a duração do fenômeno:

- **Região 1:** Transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas;

- **Região 2:** Transitórios oscilatórios de baixa frequência, os quais possuem uma duração característica de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  ciclo;
- **Região 3:** Elevações de tensão com amplitudes de até 120% da tensão nominal RMS;
- **Região 4:** Regime permanente de forma a descrever uma tensão eficaz constante máxima de 10% do valor nominal por um período indefinido de tempo.



*Figura 3.5 – Curva de suportabilidade ITIC.*

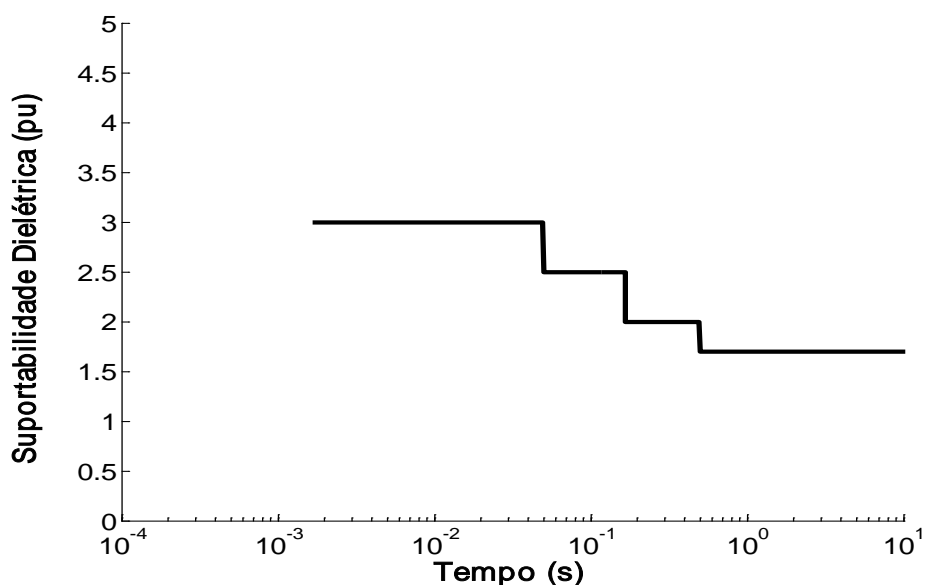
Embora a curva anterior seja amplamente utilizada, o fato de ser originalmente elaborada para equipamentos da área de tecnologia da informação e a crescente necessidade de procedimentos técnicos específicos para a análise de pedidos de ressarcimento têm incentivado novas buscas de limites suportáveis para outros equipamentos eletroeletrônicos. Dentro deste contexto, é que esse trabalho busca determinar uma curva de suportabilidade

dielétrica específica para televisores.

### **B – Curvas de suportabilidade da referência [3]**

A referência supra identificada apresenta os principais resultados de testes através da aplicação de sobretensões em equipamentos eletrônicos, com destaque aos aparelhos de TV.

Para verificação das condições de operação e suportabilidade dos mesmos, foram conduzidos ensaios de sobretensões na frequência industrial nesta categoria de produtos, os quais compreenderam tanto unidades novas como também outras com algum tempo de uso. A partir destes experimentos, estabeleceu-se a curva de suportabilidade dielétrica evidenciada na figura 3.6.



*Figura 3.6 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV*

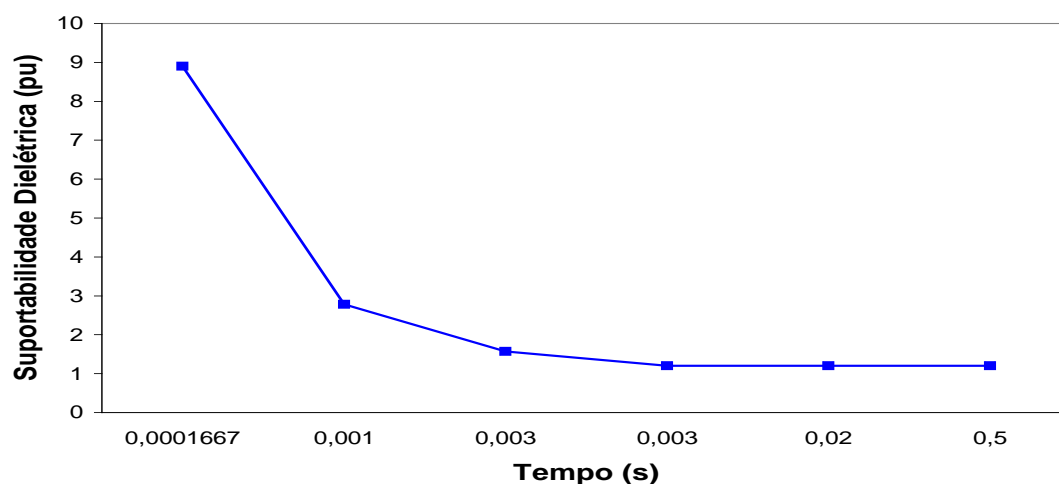
### **C – Curvas de suportabilidade da referência [4]**

A referência [4] apresenta a curva de tolerância a eventos de tensão obtida experimentalmente via ensaios de impulsos e de variações de tensão em televisores em consonância com os procedimentos estabelecidos nos

documentos IEC 61000-4-5 e IEC 61000-4-11.

Este estudo objetivou investigar quais os principais distúrbios de qualidade da energia elétrica causadores de danos em equipamentos, bem como os níveis aceitáveis para prevenir a violação dos seus limites dielétricos.

A título de ilustração a figura 3.7 mostra a curva de suportabilidade obtida pela referência mencionada.



*Figura 3.7 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV.*

### **3.4.2 – CURVAS DE SUPORTABILIDADE TÉRMICA**

Conforme mencionado anteriormente, não se encontrou nenhum documento que fizesse referência quanto à existência de curvas de suportabilidade térmica de televisores. Portanto a metodologia proposta no item 3.3 – b é uma das contribuições dessa pesquisa, propondo uma curva de suportabilidade térmica para televisores, a partir do conceito da integral de joule ( $I^2t$ ), por representar os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma sobrecorrente. Esta condição operacional será abordada na sequência desta dissertação.

### **3.5 - SISTEMATIZAÇÃO DE UMA METODOLOGIA E ESTRUTURA LABORATORIAL PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE SUPORTABILIDADE**

Conforme mencionado anteriormente, dificilmente se consegue, na atualidade, os limites de suportabilidade dielétrica e térmica para os diferentes equipamentos eletrônicos existentes no mercado.

Em particular, são recorrentes os trabalhos que se utilizam das curvas citadas no item 3.4 para análise de suportabilidade física dos equipamentos de TV's.

À luz destes fatos, a obtenção de curvas representativas dos padrões de suportabilidade deve ser feita através de meios laboratoriais que ofereçam a confiabilidade almejada.

A realização dos ensaios de desempenho é de fundamental importância para o conhecimento dos mais distintos equipamentos quando estes se encontram submetidos a suprimentos elétricos não ideais. Estes trabalhos laboratoriais permitem obter, dentre outras características, os níveis de sensibilidade e suportabilidade dos eletroeletrônicos para os mais diversos tipos de distúrbios. Dois aspectos devem ser considerados para se atingir tais metas. Primeiramente, há de se reconhecer a inexistência de procedimentos normalizados que definam qualitativamente e quantitativamente os testes a serem efetuados. Este fato, por si só, representa um grande desafio a ser vencido.

Na seqüência, estão as questões vinculadas com uma estrutura laboratorial que sistematize os procedimentos de ensaios então definidos. Nesta etapa, além dos recursos materiais que se fazem necessários, destaca-se sobremaneira a obtenção de aplicativos destinados a representar os mais distintos fenômenos de qualidade classicamente conhecidos.

Dentro deste contexto, as metas nesta fase da pesquisa podem ser resumidas em dois pontos principais:

- Proposição de uma metodologia que defina qualitativa e quantitativamente os testes destinados à avaliação de desempenho dos televisores, observando os níveis de sensibilidade e suportabilidade quando estes se encontram submetidos a um suprimento com um ou mais tipos de desvios do padrão ideal;
- Obtenção de uma estrutura laboratorial apropriada, composta de recursos de hardware e software, destinada a sistematizar a proposta acima referida.

### **3.5.1 – METODOLOGIA PARA SISTEMATIZAÇÃO DE TESTES DE SUPORTABILIDADE**

Importante salientar que as recomendações e/ou normas nacionais e internacionais não apresentam metodologias específicas para a realização de testes sob o enfoque desta dissertação, tampouco padronizam os patamares a serem considerados.

Dentro deste contexto, constata-se que grande parte dos trabalhos técnico científicos conduzidos, tanto no Brasil quanto no exterior, apesar de valerem-se de algumas das propostas contidas nos documentos normativos ou de níveis encontrados em sistemas reais, procuram elaborar suas próprias rotinas de ensaios.

Assim, devido às necessidades impostas pela falta de padrões, aliadas às dificuldades existentes quanto à geração dos diversos fenômenos de qualidade, esta pesquisa aprofunda e contribui neste tema.



Conforme anteriormente estabelecido, os ensaios a serem enfocados ao longo do trabalho visam levantar as curvas de suportabilidade dos televisores tendo por alvo distúrbios que vão desde os impulsos de tensão e de corrente oriundos das descargas atmosféricas, sobretensões associadas com a frequência industrial até o regime permanente.

### **3.5.1.1 – PROPOSTA PARA REALIZAÇÃO DE TESTES DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA**

Levando-se em consideração as dificuldades atreladas com a inexistência de maiores e mais completas orientações que permitam o estabelecimento de procedimentos laboratoriais para o estudo de desempenho de dispositivos eletroeletrônicos, observando-se a correlação entre a sua sensibilidade e/ou suportabilidade quando estes encontram-se supridos por redes elétricas com problemas de qualidade. Assim, procede-se neste item a uma proposição para a realização de diversos ensaios com o objetivo de obter alguns pontos da curva de suportabilidade dielétrica dos televisores. Esta sugestão encontra sustentação nos seguintes pontos:

- Nos documentos para a execução de testes descritos anteriormente;
- Nos limites estabelecidos, nacional e internacionalmente, pelas normas e recomendações existentes;
- Para alguns dos ensaios a norma utilizada foi a IEC61000-4-11;
- Na experiência e bom senso que devem sustentar qualquer avanço da ciência e tecnologia que não possuam base matemática estabelecida.

Baseado nestes critérios, tem-se a proposta final consolidada, cujos testes definem os pontos das curvas de suportabilidade dielétrica dos televisores, conforme mostrado no item 3.3.

Isto posto, a tabela 3.1 coletará os valores obtidos quando os aparelhos de TV estão operando nas suas condições nominais. Este ensaio tem por objetivo verificar se os mesmos estão nas suas condições normais de funcionamento. Por outro lado, este teste é necessário para que os eletroeletrônicos atinjam a sua temperatura nominal de trabalho, ou seja, os seus componentes estejam em equilíbrio térmico.

Estes testes, juntamente com as informações dos fabricantes, definem os pontos da região 3 da figura 3.2 vinculados com a curva de suportabilidade dielétrica.

*Tabela 3.1 - Ensaio nas condições nominais:*

| Tensão Nominal | Corrente Nominal | Forma de Onda |
|----------------|------------------|---------------|
|                |                  |               |
|                |                  |               |

A tabela 3.2 coletará os ensaios relacionados a sobretensões na frequência industrial, também conhecido como “Tensão Aplicada a Frequência Industrial”. Este teste destrutivo tem por objetivo obter um ponto da curva de suportabilidade dielétrica dos televisores através de diversos ensaios experimentais.

Os detalhes sobre a metodologia destes testes estão na sequência deste capítulo.

*Tabela 3.2 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial*

| Tensão Aplicada | Tempo de duração do evento | Forma de Onda |
|-----------------|----------------------------|---------------|
|                 |                            |               |
|                 |                            |               |

Os resultados dos testes da tabela 3.2 definem pontos da região 2 da curva de suportabilidade dielétrica da figura 3.2.

Para a definição de pontos associados à região 1 da figura 3.2 da curva de suportabilidade dielétrica, a qual está associada aos transitórios impulsivos de

alta frequência, faz-se necessário a realização de testes destrutivos vinculados aos impulsos típicos das descargas atmosféricas.

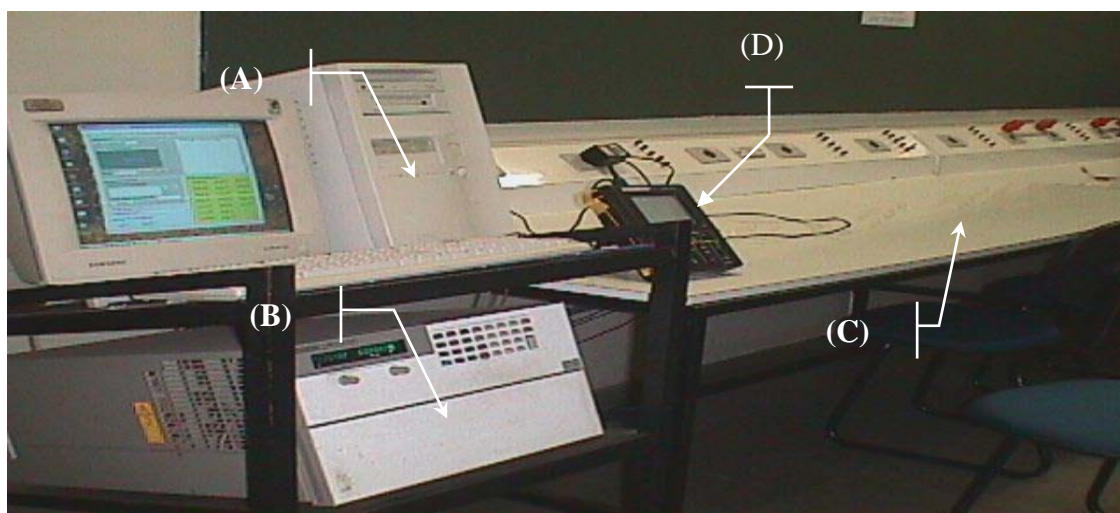
Por ser outra metodologia de ensaio, este assunto será apresentado na sequência deste trabalho.

### **3.5.2 – ESTRUTURA LABORATORIAL PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE SOBRETENSÕES NA FREQUÊNCIA INDUSTRIAL**

Uma vez definidas as direções qualitativas e quantitativas para a realização dos testes, estes devem ser laboratorialmente implementados.

As figuras 3.8 a 3.11 mostram a estrutura laboratorial implementada no laboratório da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram executadas todas as montagens e os detalhes para a realização dos testes experimentais mencionados.

A título de ilustração, segue em anexo, resumidamente, a especificação dos principais equipamentos utilizados na montagem laboratorial mencionada.



*Figura 3.8 – Foto ilustrativa mostrando a estrutura laboratorial para ensaios dos equipamentos.*

*(A) Microcomputador destinado ao controle da fonte; (B) Unidade geradora de testes de Qualidade de Energia HP Series 6800; (C) Bancada de ensaios para disposição dos equipamentos a serem testados; (D) Osciloscópio Digital*

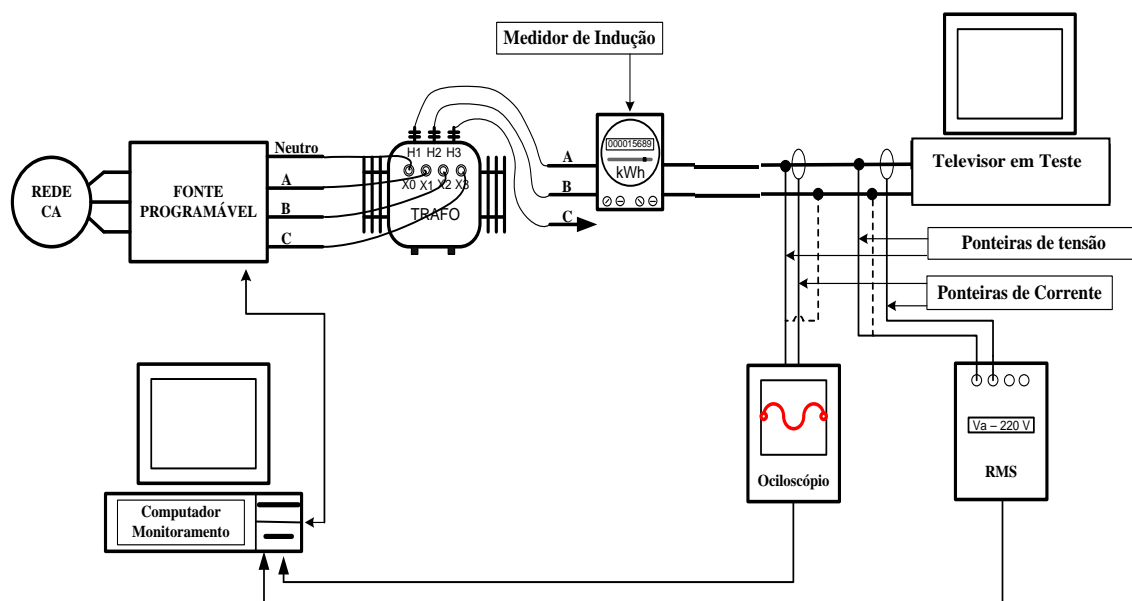


Figura 3.9 - Montagem laboratorial para levantamento de curva de suportabilidade dielétrica em televisores.



Figura 3.10 – Detalhes da montagem laboratorial



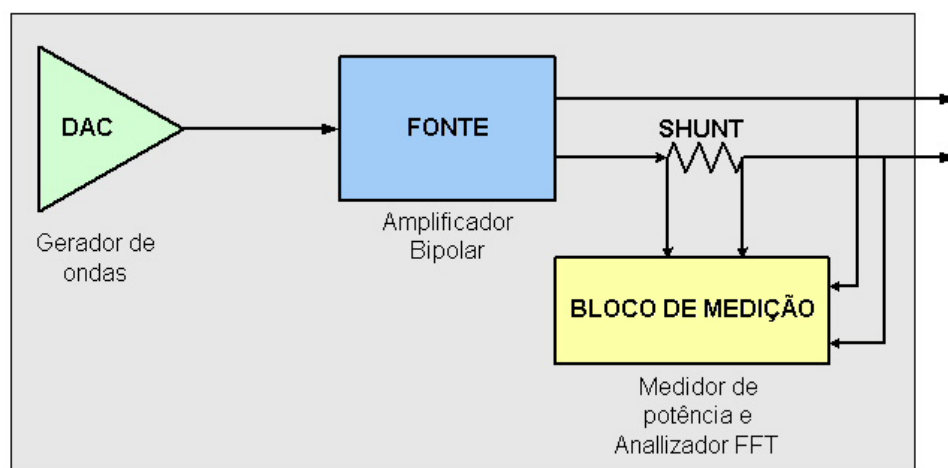
*Figura 3.11 – Fotografia ilustrativa de um televisor queimado durante os testes.*

### **3.5.2.1- FONTE DE TENSÃO DA HP SERIES 6800A**

A HP Series 6800A permite somente programação dos sinais de tensão, uma vez que as correntes providas são determinadas pelas características das cargas conectadas em seus terminais de saída, respeitando os limites impostos pela construção e/ou configuração da fonte.

#### **A - DESCRIÇÃO GERAL**

A Fonte HP Série 6800A – “AC Power Source/Analyzers” – modelo HP6834A é um aparelho que combina três diferentes instrumentos em uma única unidade. Isto é mostrado na figura 3.12.



*Figura 3.12 – Elementos funcionais da fonte CA.*

Na Figura 3.9, tem-se que:

- DAC: gerador de funções onde são produzidas as formas de onda de tensão através da programação da amplitude, frequência e forma;
- FONTE: módulo amplificador que eleva o nível do sinal provindo do gerador de funções para as aplicações que demandam potência;
- BLOCO DE MEDIÇÃO: realiza todas as funções de medições, desde uma simples leitura de valores rms de tensão e corrente, até análises sofisticadas da forma de onda.

## **B – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS**

A HP 6834A apresenta uma variada capacidade de recursos. Listam-se abaixo algumas das suas principais características:

- Modelo: HP6834A / 4500 VA Three-Phase;
- Programação de tensão c.a. frequência, fase e limite de corrente;
- Formas de onda senoidal, quadradas, etc., e definidas pelo usuário;
- Controle da taxa de crescimento/decrescimento de frequência e tensão;
- Capacidade de gerar transitórios como surtos, VTCD's (variações de tensão de curta duração) e outros distúrbios de rede;

- Ampla capacidade de medição, dentre as quais citamos, valores eficazes e de pico de tensões e correntes CA e CC e potência ativa, reativa e aparente, etc;
- Análise harmônica de tensão e corrente fornecendo amplitude, ângulo de fase e THD's até a 50ª ordem;
- Medições adicionais de potência total e de corrente de neutro no modo trifásico;
- Painel frontal com display fluorescente de 14 caracteres, possibilitando diversas programações;
- Autoteste, indicação de status e software para calibração.

## **C – CARACTERÍSTICAS DE SAÍDA**

### **(a) FAIXAS DE TENSÃO**

Com relação a saída de tensão da fonte HP, esta pode ser ajustada em diversos valores, levando em consideração os limites da unidade de potência. Neste caso é possível fazer tal ajuste de forma independente para cada fase.

### **(b) POTÊNCIA DE SAÍDA**

A capacidade de saída de cada fase é limitada por valores de potência aparente (VA) e não por potência ativas (watts).

Uma vez descrito as principais características da Fonte HP Série 6800A, fica reconhecido que esta se adapta aos propósitos delineados para este trabalho, quais sejam, sistematizar testes de suportabilidade em televisores.

## **3.5.2.2 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA**

As principais características típicas do transformador de distribuição utilizado são:

- Potência: 15 kVA; trifásico
- Tensões nominais: 127/220 V – 13.800 V;
- Impedância: 5%.

### **3.5.2.3 – REGISTRADOR MARH 21 ( MEDIDOR DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA)**

As principais características do registrador de tensão e corrente estão apresentadas na sequência:

- Portátil, mostrador de cristal líquido alfanumérico;
- Memória de 4Mb;
- Tensão alimentação: CA 70 a 600V, frequência: 50Hz ou 60Hz; CC 11 a 600V.
- Avaliação de perturbações na rede elétrica (conteúdo harmônico de tensão e corrente, variações momentâneas de tensão, “sag”, “swell”, etc);
- Obtenção da forma de onda de tensão e corrente;
- Amostragem das formas de onda e espectro harmônico;
- Transferência das informações para microcomputador;
- Gráficos com as variações das grandezas medidas ao longo do tempo.

### **3.5.2.4 – OSCILOSCÓPIO DIGITAL**

As principais características do osciloscópio digital são:

- Fabricante: Tektronix;
- Modelo: THS720P;



- Número de canais: 2 (isolados);
- 2500 amostras para cada canal.

### **3.5.2.5 – MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA**

As principais características do medidor de energia elétrica são:

- Tensão nominal: 120 V; Freqüência: 50/60 Hz;
- Corrente nominal: 15 A; Corrente máxima: 120 A;
- Classe de precisão: B (1%); Número de fios: 3 fios (2 fases).

## **3.6 – ENSAIOS DE SOBRETENSÕES NA FREQUÊNCIA INDUSTRIAL**

Ressalta-se que os diversos modelos novos e usados de televisão foram ensaiados, com atenção especial aos equipamentos mencionados no capítulo II, e que após os ensaios destrutivos, foram encaminhados para uma oficina de consertos especializada, que emitiu laudos por equipamento, relacionando os componentes danificados e os custos médios dos reparos executados.

Isto posto, mostra-se a seguir diversos testes de sobretensões na frequência industrial aplicado em alguns televisores, onde o objetivo e caracterização dos ensaios, que são comuns aos eletroeletrônicos, são indicados a seguir:

- **Objetivo do ensaio**

O ensaio destrutivo tem por objetivo determinar um ponto da curva de suportabilidade dielétrica de um aparelho televisor.

- **Caracterização do ensaio**

Na frequência de 60 Hz, através da fonte de tensão variável citada anteriormente, aumenta-se a tensão gradativamente até que a suportabilidade do aparelho seja ultrapassada. Normalmente, esta tensão aplicada é de 2,0 pu.

### 3.6.1 - TV PHILCO USADA DE 14 POLEGADAS

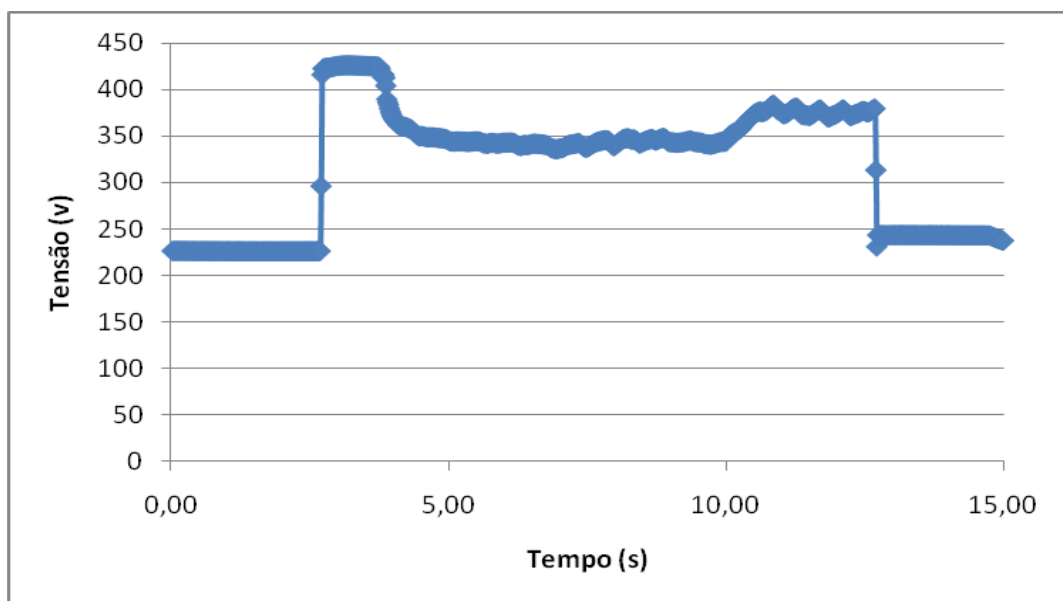
A tabela 3.3 indica os valores obtidos durante a realização dos testes.

*Tabela 3.3 - Ensaios com sobretensões na frequência industrial:*

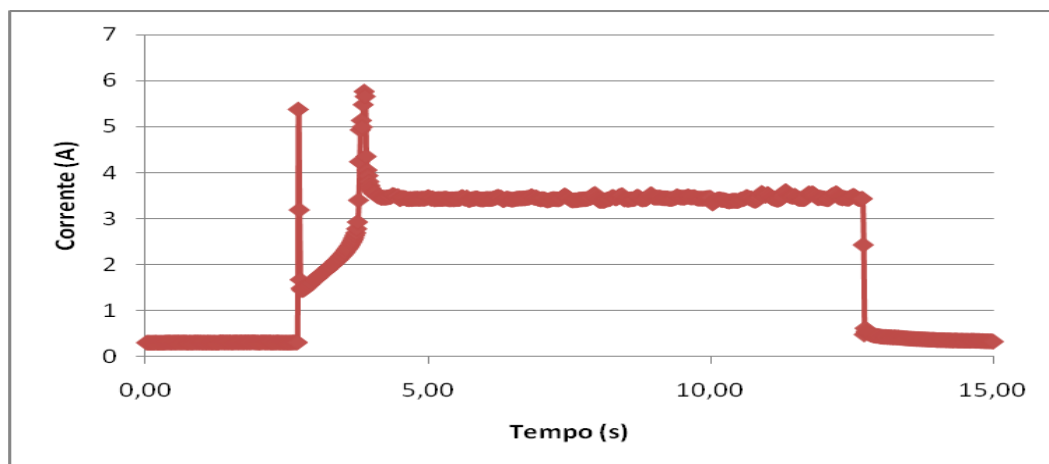
| Tensão aplicada (pu) | Tempo de duração do evento (s) | Forma de onda/comentários   |
|----------------------|--------------------------------|---|
| 1,0                  | 3600                           | Este ensaio foi realizado com dois objetivos:<br>✓ Verificar se o televisor estava funcionando nas condições nominais;<br>✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico. |
| 1,2                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,5                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,9                  | 1                              | Houve falha no televisor, ou seja, houve a destruição de componente internos do equipamento.  |

#### a) RESULTADOS

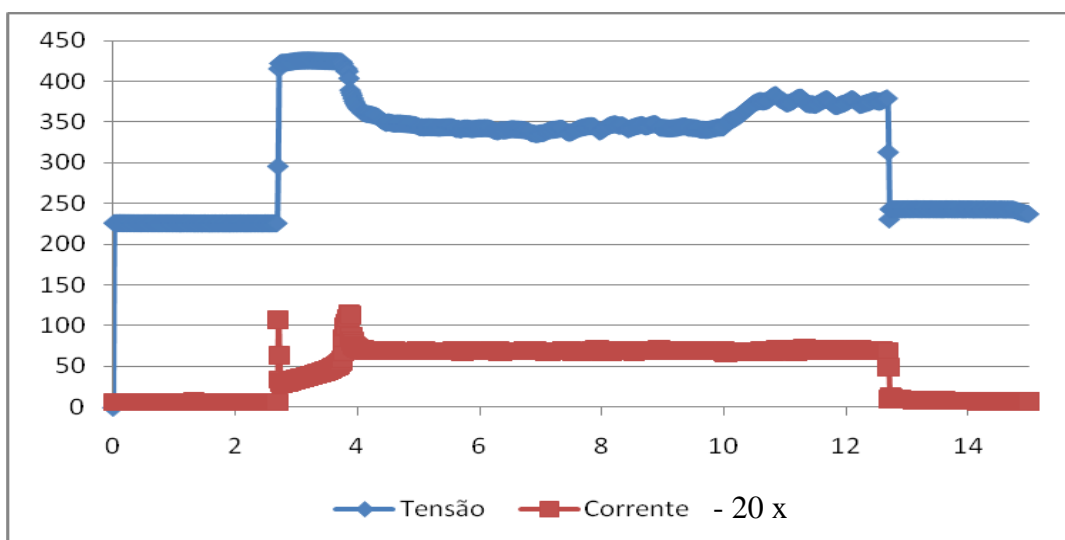
As figuras 3.13 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 1,9 pu.



*Figura 3.13 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio.*



*Figura 3.13 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.*



*Figura 3.13 c – Formas das ondas de tensão e corrente obtidas neste ensaio.*

### **b) CONCLUSÕES**

Tomando-se como base as figuras 3.13, observa-se que a tensão foi elevada até 1,9 pu em relação ao seu valor nominal no instante 2,7 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante 3,7 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma, obtém-se o ponto da curva de suportabilidade dielétrica, ou seja:

- Tensão: 1,9 pu
- Tempo: 1 segundo

A título de ilustração, a figura 3.14 mostra a televisão de 14 polegadas danificada.



(a) Momento da danificação do equipamento



(b) Circuito elétrico danificado da TV

*Figura 3.14 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philco de 14 polegadas.*

### **c) LAUDO TÉCNICO DA OFICINA ESPECIALIZADA E CREDENCIADA PELA CEMIG-D**

O Televisor Philco 14”, modelo PC1439 foi danificado em sua fonte de alimentação, onde o fusível de 3,15 A foi carbonizado e o capacitor da fonte estourado.

Após a substituição dos componentes danificados o aparelho voltou a funcionar novamente, ficando ligado por algumas horas sem apresentar problemas.

Valor do reparo: Fusível = R\$0,50; Capacitor = R\$ 5,50 Mão de obra= R\$ 65,00.

Aqui evidencia-se um dano físico por estresse térmico (fusível) e outro por estresse dielétrico (capacitor).

### 3.6.2 - TV PHILCO USADA DE 20 POLEGADAS

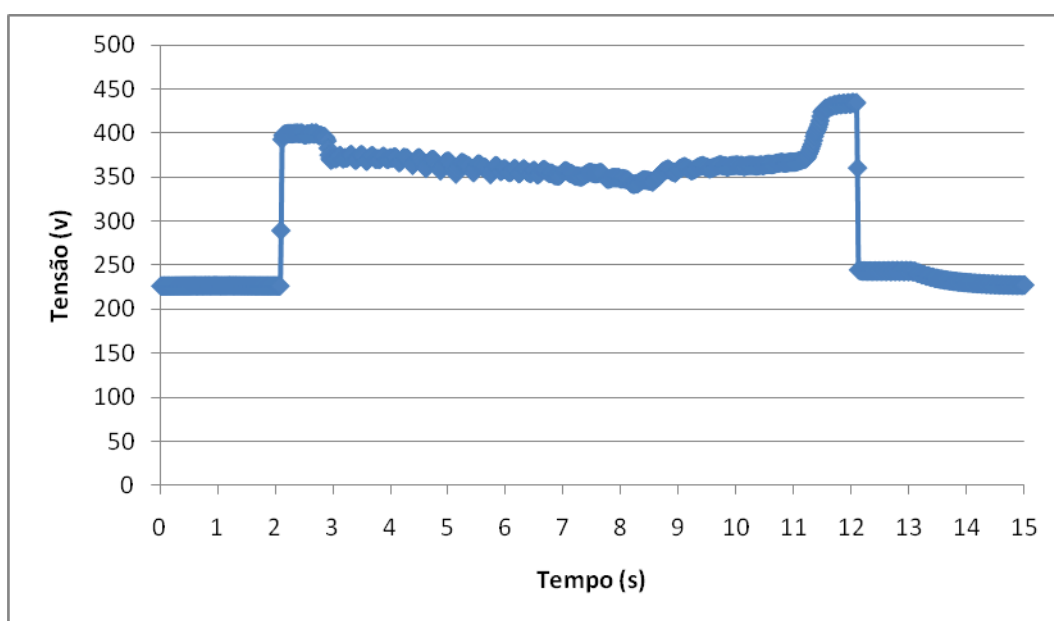
A tabela 3.4 informa os valores obtidos durante os ensaios.

*Tabela 3.4 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial:*

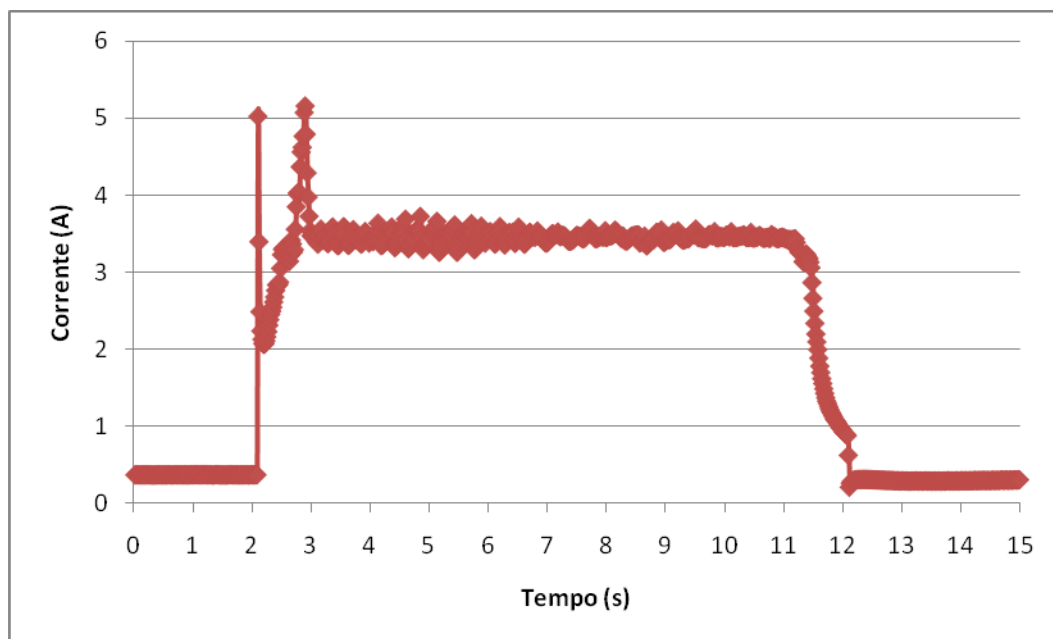
| Tensão aplicada (pu) | Tempo de duração do evento (s) | Forma de onda/comentários   |
|----------------------|--------------------------------|---|
| 1,0                  | 3600                           | Este ensaio foi realizado com dois objetivos:<br>✓ Verificar se o televisor estava funcionando nas condições nominais;<br>✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico. |
| 1,2                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,5                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 2                    | 0,78                           | Houve falha no televisor, ou seja, houve a destruição de componentes internos do equipamento.   |

#### a) RESULTADOS

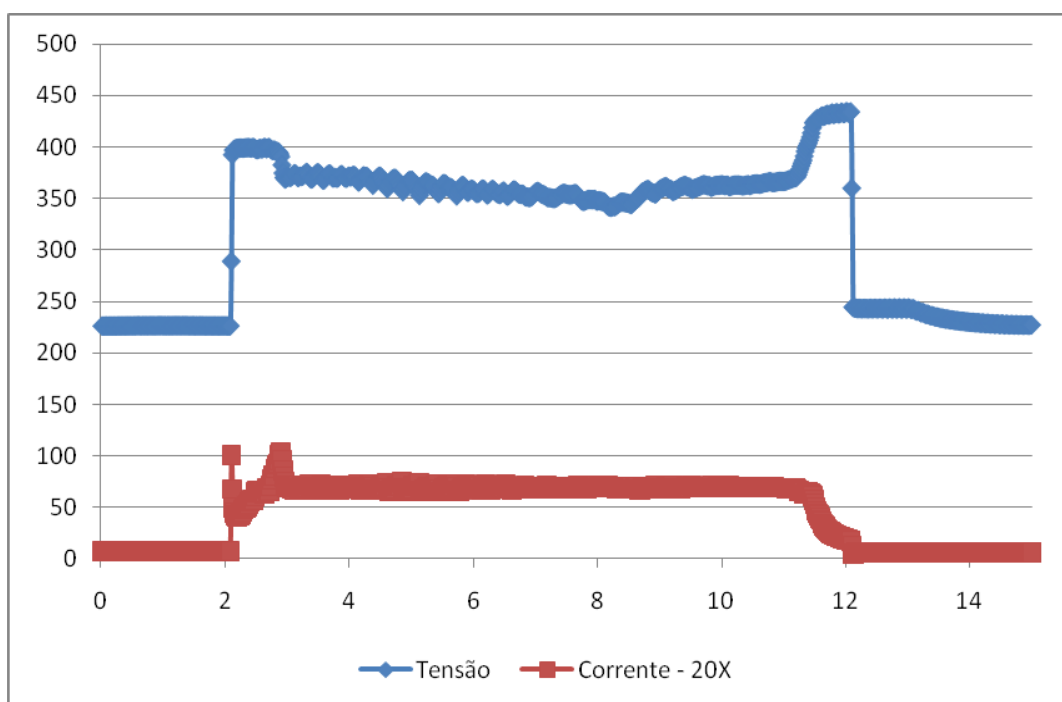
As figuras 3.15 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 2,0 pu.



*Figura 3.15 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio.*



*Figura 3.15 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.*



*Figura 3.15 c – Formas das ondas de tensão e corrente obtida neste ensaio.*

## **b) CONCLUSÕES**

Tomando-se como base as figuras 3.15, observa-se que a tensão foi elevada até 2,0 pu em relação ao seu valor nominal no instante de 2,12

segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante de 2,9 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma, obtém-se o ponto da curva de suportabilidade dielétrica:

- Tensão: 2,0 pu
- Tempo: 0,78 segundo

A título de ilustração, a figura 3.16 mostra a televisão de 20 polegadas danificada.



*Figura 3.16 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philco de 20 polegadas.(Consequência)*

**c) LAUDO TÉCNICO DA OFICINA ESPECIALIZADA E CREDENCIADA PELA CEMIG-D**

O televisor Philco 20”, modelo PC20R38 foi avariado em sua fonte de alimentação, onde verificou-se que o fusível de 3,15 A e o capacitor de rede de 100nf/400v estavam queimados. Após a substituição o aparelho voltou a funcionar normalmente.

Valor das peças = R\$ 2,00      Valor da mão de obra. = R\$ 60,00.

Mais uma vez, ficaram evidenciados o estresse térmico (fusível) e dielétrico (capacitor).

### 3.6.3 - TV PHILIPS USADA DE 20 POLEGADAS

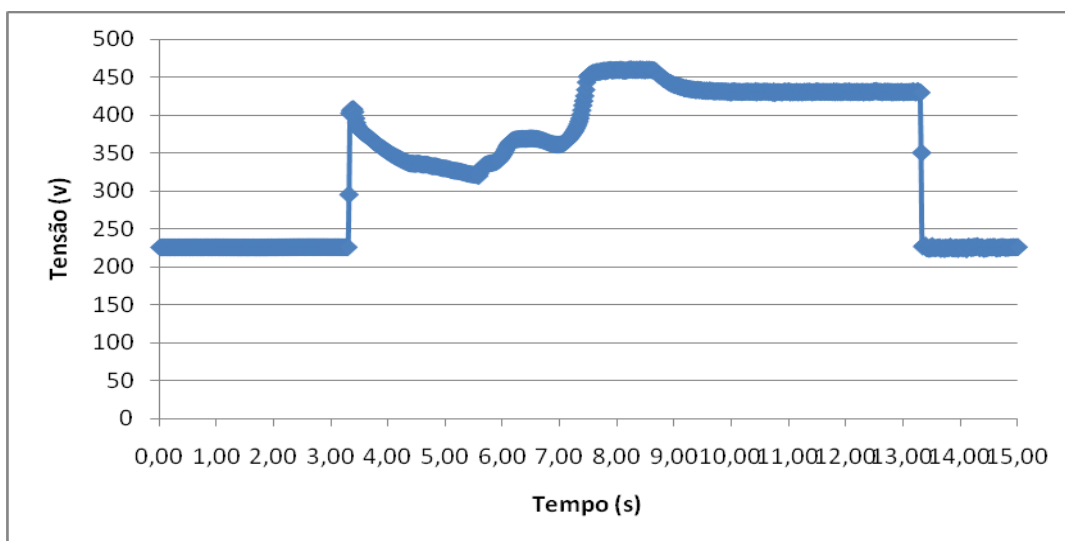
A tabela 3.5 mostra os resultados obtidos durante a realização dos ensaios experimentais.

*Tabela 3.5 - Ensaios com sobretensões na frequência industrial:*

| Tensão aplicada (pu) | Tempo de duração do evento (s) | Forma de onda/comentários   |
|----------------------|--------------------------------|---|
| 1,0                  | 3600                           | Este ensaio foi realizado com dois objetivos:<br>✓ Verificar se o televisor estava funcionando nas condições nominais;<br>✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico. |
| 1,2                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,5                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,9                  | 0,27                           | Houve falha no televisor, ou seja, houve a destruição de componentes internos do equipamento.   |

#### a) RESULTADOS

As figuras 3.17 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 1,9 pu.



*Figura 3.17 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio.*



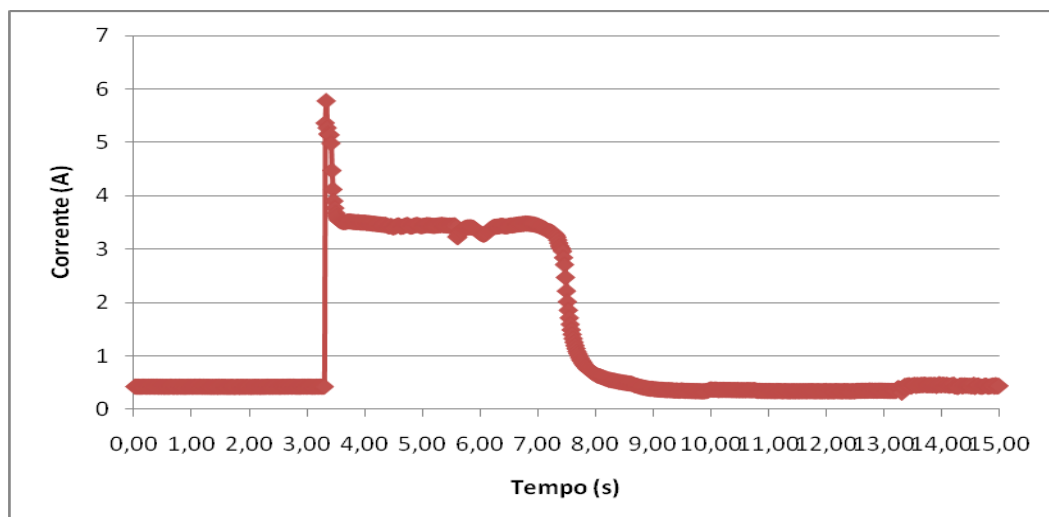


Figura 3.17 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.

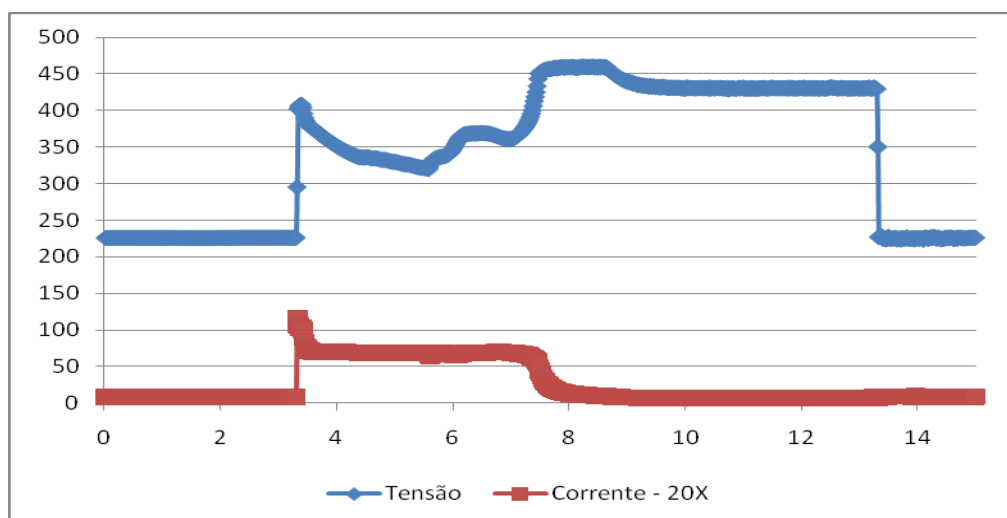


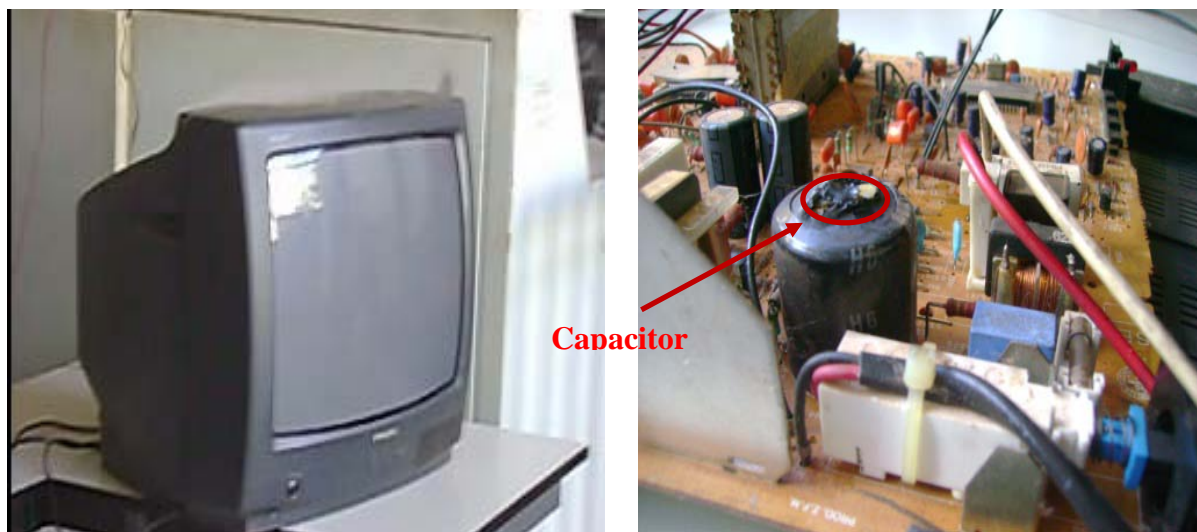
Figura 3.17 c – Formas das ondas de tensão e corrente obtidas neste ensaio.

## b) CONCLUSÕES

Tomando-se como base as figuras 3.17, observa-se que a tensão foi elevada até 1,9 pu em relação ao seu valor nominal no instante de 3,3 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante de 3,57 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma, obtém-se o ponto da curva de suportabilidade dielétrica:

Tensão: 1,9 pu      Tempo: 0,27 s

A título de ilustração, a figura 3.18 mostra a televisão de 20 polegadas danificada.



(a) Momento da danificação do equipamento

(b) Circuito elétrico danificado da TV

Figura 3.18 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips usado de 20 polegadas.

**c) LAUDO TÉCNICO DA OFICINA ESPECIALIZADA E CREDENCIADA PELA CEMIG-D**

O televisor Philips, usado 20”, modelo 20GL, foi encontrado com o fusível e o capacitor de rede queimados. Após a troca, voltou a funcionar normalmente e ficou ligado por mais algum tempo para testes e não apresentou mais problemas .

Valor das peças = R\$ 2,00 Valor da mão-de-obra = R\$ 65,00.

Novamente, foram evidenciados o stress térmico (fusível) e dielétrico (capacitor).

### **3.6.4 - TV TOSHIBA USADA DE 29 POLEGADAS**

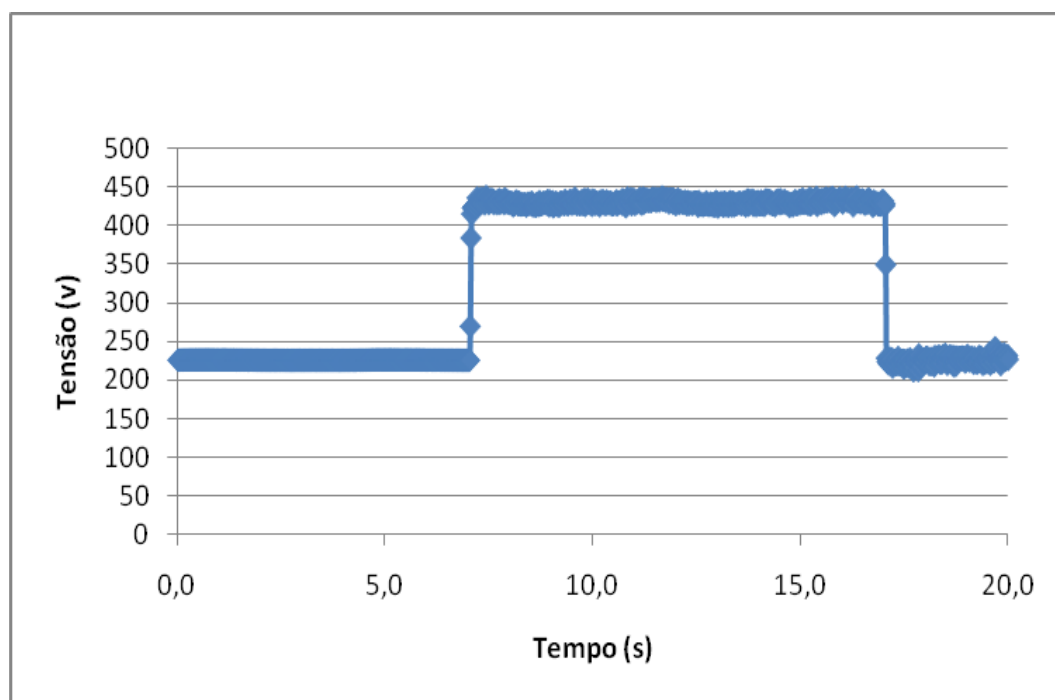
A tabela 3.6 fornece os valores obtidos durante os ensaios experimentais.

*Tabela 3.6 - Ensaios com sobretensões na frequência indústria:*

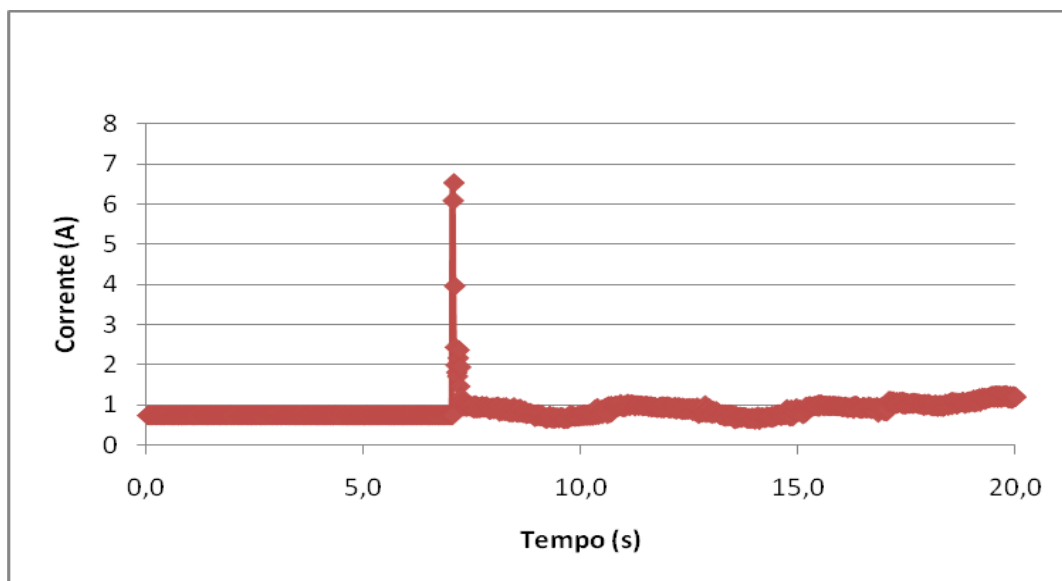
| Tensão aplicada (pu) | Tempo de duração do evento (s) | Forma de onda/comentários   |
|----------------------|--------------------------------|---|
| 1,0                  | 3600                           | Este ensaio foi realizado com dois objetivos:<br>✓ Verificar se o televisor estava funcionando nas condições nominais;<br>✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico. |
| 1,2                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,5                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 2                    | 0,50                           | Houve falha no televisor, ou seja, houve a destruição de componentes internos do equipamento.   |

**a) RESULTADOS**

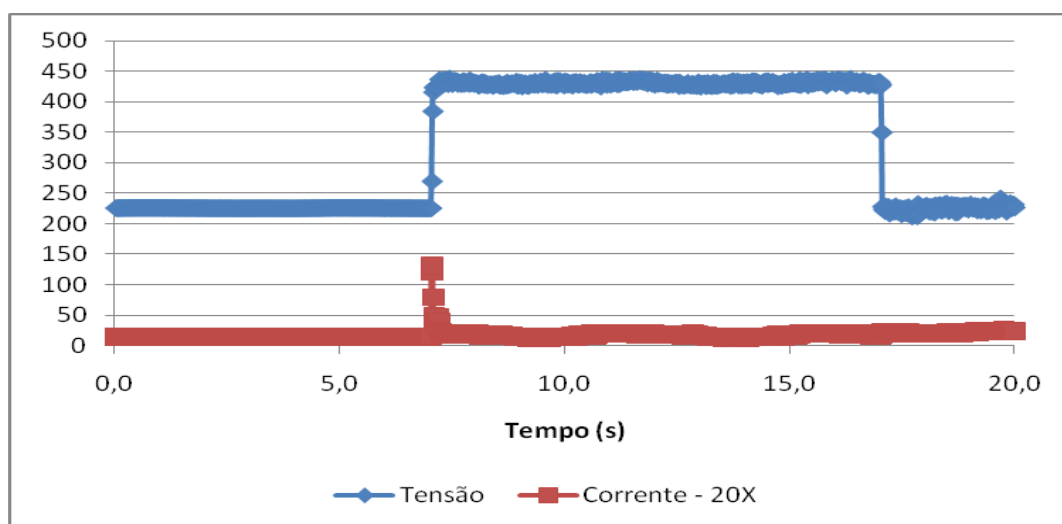
As figuras 3.19 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 2,0 pu.



*Figura 3.19 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio.*



*Figura 3.19 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.*



*Figura 3.19 c – Formas das ondas de tensão e de corrente obtidas neste ensaio.*

## **b) CONCLUSÕES**

Tomando-se como base as figuras 3.19, observa-se que a tensão foi elevada até 2,0 pu em relação ao seu valor nominal no instante 7,05 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante 7,55 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma obtém o ponto da curva de suportabilidade dielétrica, ou seja:

Tensão: 2,0 pu                      Tempo: 0,50 s.

A título de ilustração, a figura 3.20 mostra a televisão de 29 polegadas danificada.



*Figura 3.20 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Toshiba de 29 polegadas.*

**c) LAUDO TÉCNICO DA OFICINA ESPECIALIZADA E CREDENCIADA PELA CEMIG-D**

O televisor Toshiba 29”, modelo TS289ST/PIP foi avariado em sua fonte de alimentação, apresentando a queima do fusível de 5 A .

Após a troca, a TV voltou a funcionar normalmente.

O valor do fusível = R\$ 0,50                      Valor da mão de obra. = R\$ 85,00.

Aqui evidenciou apenas o estress térmico (fusível).

### 3.6.5 - TV PHILIPS NOVA DE 21 POLEGADAS

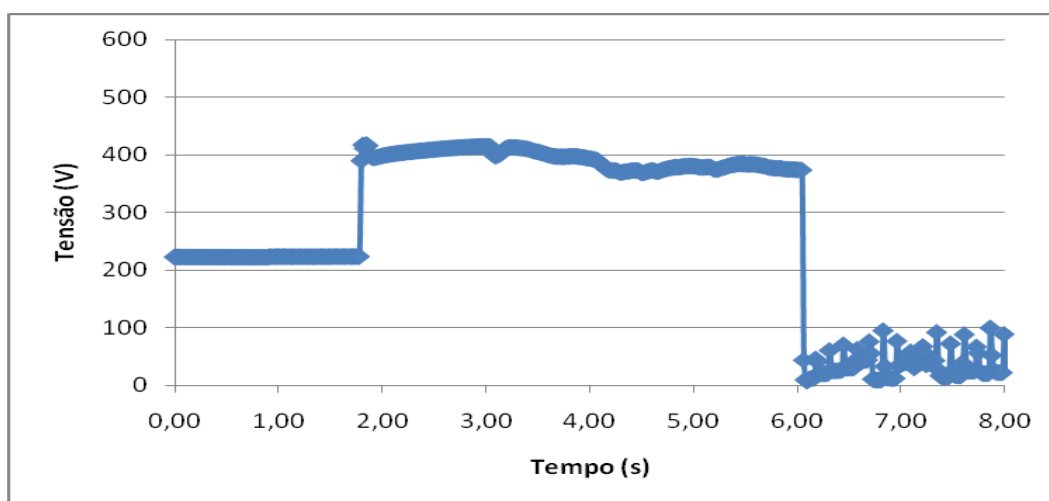
A tabela 3.7 indica os resultados obtidos nos ensaios destrutivos.

*Tabela 3.7 - Ensaios com sobretensões na frequência industrial*

| Tensão aplicada (pu) | Tempo de duração do evento (s) | Forma de onda/comentários   |
|----------------------|--------------------------------|---|
| 1,0                  | 3600                           | Este ensaio foi realizado com dois objetivos:<br>✓ Verificar se o televisor estava funcionando nas condições nominais;<br>✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico. |
| 1,2                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,5                  | 60                             | Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.   |
| 1,9                  | 0,28                           | Houve falha no televisor, ou seja, houve a destruição de componentes internos do equipamento.   |

#### a) RESULTADOS

As figuras 3.21 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 1,9 pu.



*Figura 3.21 a – Forma de onda da tensão aplicada neste ensaio.*

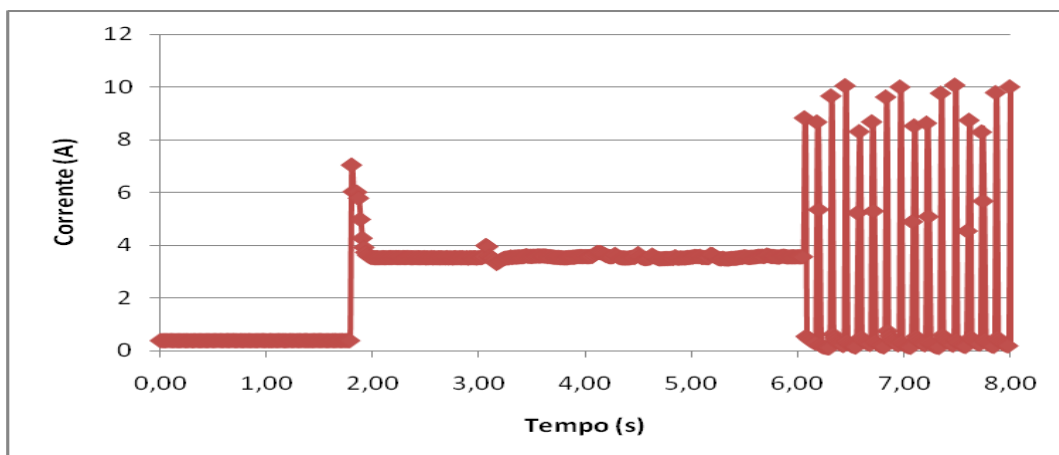


Figura 3.21 b – Forma de onda da corrente obtida neste ensaio.

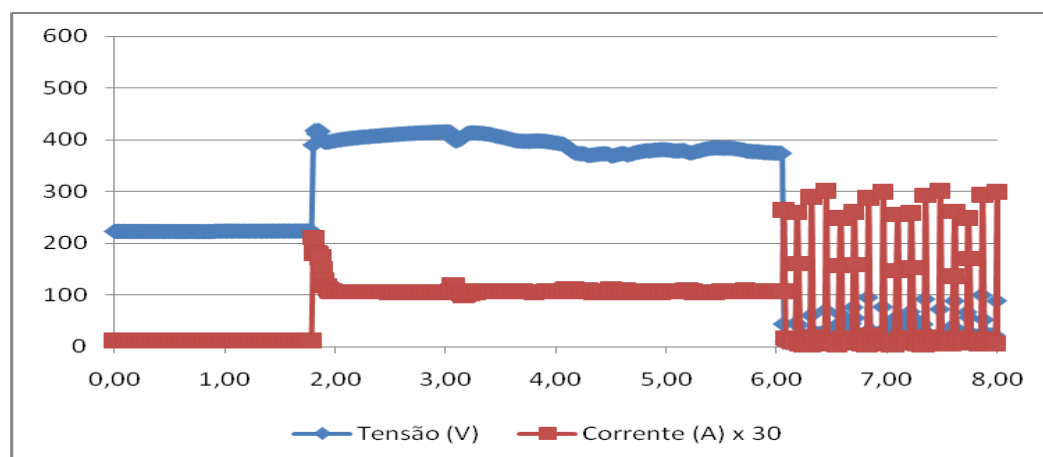


Figura 3.21 c – Formas das ondas de tensão e corrente obtidas neste ensaio.

## b) CONCLUSÕES

Tomando-se como base as figuras 3.21, observa-se que a tensão foi elevada até 1,9 pu em relação ao seu valor nominal no instante 1,70 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante 1,98 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma obtém o ponto da curva de suportabilidade dielétrica:

Tensão: 1,9 pu      Tempo: 0,28 s

Na figuras 3.22 pode-se observar a televisão de 21 polegadas submetida ao ensaio e que ela danificou-se durante a realização do mesmo.



(a) Momento da danificação do equipamento

(b) Circuito elétrico danificado da TV

Figura 3.22 – Ensaio de suportabilidade com o televisor Philips nova de 21 polegadas.

**c) LAUDO TÉCNICO DA OFICINA ESPECIALIZADA E CREDENCIADA PELA CEMIG-D**

O televisor Philips, novo, 21”, modelo 21PT9647/C78 apresentou danos na sua fonte de alimentação. Foi encontrado o fusível totalmente carbonizado, feita a substituição, o aparelho voltou a funcionar normalmente.

A TV foi deixada em funcionamento por algumas horas e não apresentou nenhum outro problema.

Valor do fusível = R\$ 0,50      Valor da mão de obra. = R\$ 65,00.

Aqui evidenciou apenas o estress térmico (fusível).

### **3.6.6 – CONDIÇÕES IDEAIS E NÃO IDEAIS DE SUPRIMENTO**

Além dos testes destrutivos descritos anteriormente, os televisores também foram avaliados sob regime permanente e aos distúrbios de variações de tensão em curta duração, interrupções, transitórios, variações de tensão em regime permanente, conforme as referências [7,8, 11].

Esses testes basicamente se resumem em avaliar os seguintes aspectos:



- Os espectros harmônicos da corrente de alimentação com ênfase nas harmônicas de 3ª e 5ª ordem;
- Oscilogramas das tensões e correntes para um DHT de 20% da tensão fundamental;
- Flutuações de tensão responsável por um indicador de cintilação luminosa (Pst);
- Afundamento de tensão de curta duração com afundamento para 60% da tensão nominal com duração de 10 ciclos;
- Interrupção de tensão por 10 ciclos, findo o qual a tensão é restaurada ao seu valor nominal;
- Elevação de tensão temporária para 120% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos;
- Transitórios oscilatórios.

Os resultados desses testes contribuíram apenas para verificação da sensibilidade do equipamento, pois não superaram o limite da suportabilidade física do mesmo. Em outras palavras, esse conjunto de testes não gerou nenhum ponto para a elaboração da curva de suportabilidade do equipamento, motivo pelo qual não foram apresentados nesta dissertação.

### **3.7 – ENSAIOS LABORATORIAIS ASSOCIADOS COM AS SOBRETENSÕES DEVIDO À QUEDA DOS CABOS DA MÉDIA NA BAIXA TENSÃO**

Além dos testes de sobretensão aplicada à frequência industrial, cujos resultados foram apresentados no tópico anterior, buscou-se comprovar laboratorialmente outros fenômenos que podem ocorrer na rede elétrica, e que porventura, podem resultar em danos a equipamentos elétricos residenciais.

Dentro do exposto, este item seguiu na direção de analisar a queda dos cabos da média sobre a rede de baixa tensão.

Durante a ocorrência desse fenômeno, até que a proteção atue retirando a falta, as tensões nas fases da baixa tensão ficam com a mesma magnitude das tensões na média tensão. Embora a coordenação da proteção na rede de distribuição seja realizada de maneira extremamente criteriosa, existindo em várias situações redundância da proteção, em algumas situações particulares, a proteção primária poderá falhar, fazendo com que os consumidores da baixa tensão estejam sujeitos a sobretensão devido ao fenômeno citado até que uma proteção secundária atue.

Buscando estudar experimentalmente o fenômeno de sobretensão causado pela queda dos cabos da média tensão na baixa, foram realizados diversos testes laboratoriais em alguns televisores.

A montagem laboratorial para a execução desses ensaios é apresentado na figura 3.23.

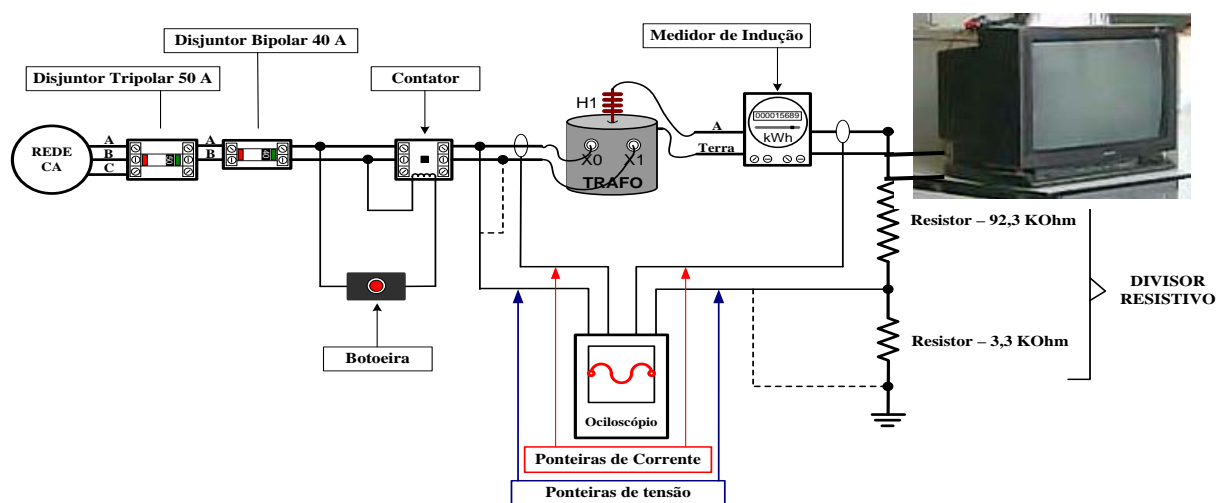
Vale ressaltar que para a realização desses ensaios foi necessário um transformador monofásico utilizado nas redes elétricas rurais. O transformador possui uma potência nominal de 5 kVA, com uma relação de transformação de 33,2 ou seja 7.967/240 V.

Além deste equipamento, também foram utilizados um contator, uma botoeira, além de disjuntores de proteção. Para a representação do circuito de um consumidor residencial, foram utilizados um medidor de energia eletrônico bifásico, utilizado em larga escala em instalações elétricas residenciais, e a carga a ser testada foi um aparelho de TV.

As grandezas elétricas foram monitoradas através de um osciloscópio de 4 (quatro) canais, o que permitiu a coleta de dados de tensão e corrente nos lados de alta e baixa tensão do transformador. Devido a limitação das ponteiros do osciloscópio, não foi possível obter leituras diretas da tensão no lado de alta

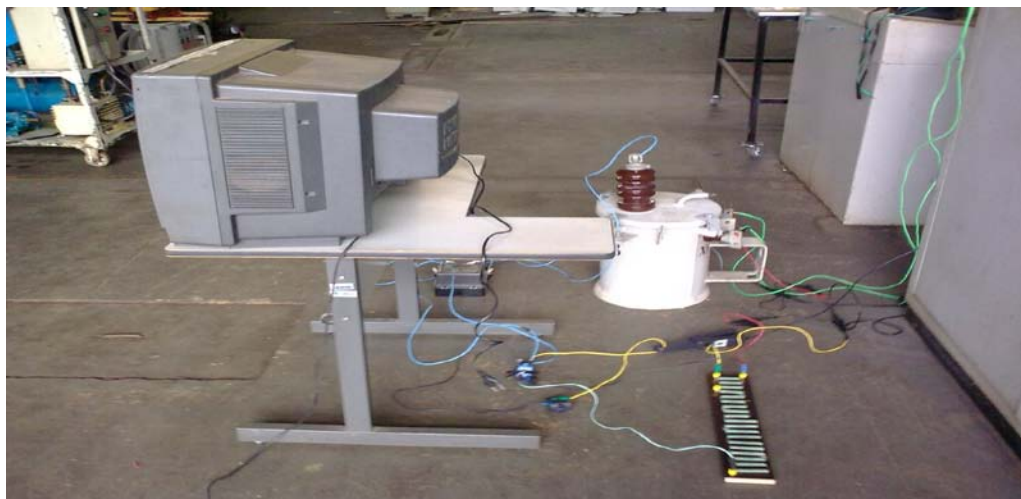
tensão do equipamento. Sendo assim, a obtenção desta grandeza foi feita, indiretamente, por meio de um divisor resistivo.

Vale ressaltar que para cada 1 volt medido pelo canal 1, a medida real para aquele canal (lado da alta tensão do transformador), equivale a 28,3 volts, sendo esta a relação de transformação oferecida pelo divisor resistivo.



*Figura 3.23 - Montagem laboratorial para o ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa.*

Uma vez realizada a montagem laboratorial para a realização do experimento, seguindo os esquemas apresentados nas figuras 3.23, 3.24 e 3.25, procedeu-se a realização dos testes. A partir do esquema experimental apresentado, pode-se observar que uma vez acionada a botoeira, enquanto esta permanecer com o contato selado, a bobina do contator estará alimentada, e conseqüentemente, o circuito que representa o consumidor residencial estará energizado. Nesta situação operacional, o consumidor é submetido a uma tensão de magnitude bem superior àquela disponibilizada normalmente pela concessionária.



*Figura 3.24 – Detalhes da montagem laboratorial – Ensaio de um televisor usado 20”.*



*Figura 3.25 – Detalhes da montagem experimental – Comando contator via botoeira.*

### **3.7.1 – ENSAIO NA SITUAÇÃO DA QUEDA DOS CABOS DA MÉDIA TENSÃO NA BAIXA – CONDIÇÃO A VAZIO**

#### **a) OBJETIVO DO ENSAIO**

Este ensaio destrutivo de sobretensão tem por objetivo determinar se durante a simulação do evento de queda da média tensão na baixa, a tensão de alimentação no equipamento atinja o valor esperado de 7.303 V.

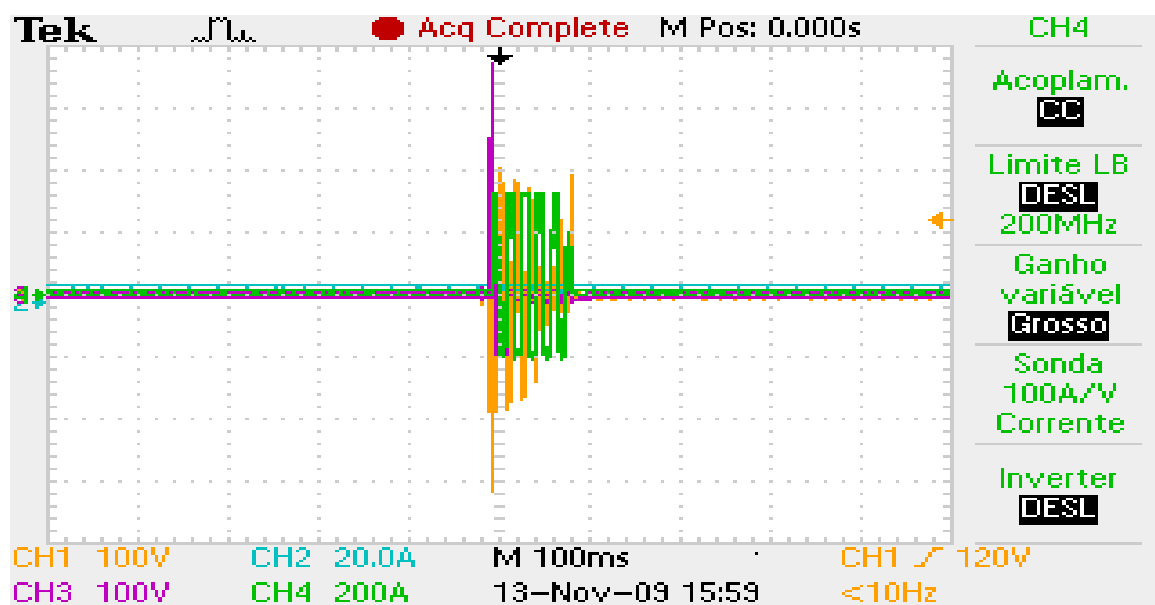
**b) CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO**

Na frequência de 60 Hz, através de um transformador monofásico, aplica-se por um curto intervalo de tempo, fazendo-se uso de uma botoeira, uma tensão fase-neutro de 220 V no lado da baixa tensão.

Desta forma, no lado de alta, a tensão que será aplicada nos terminais dos televisores é de 7.303 V. No entanto, neste primeiro ensaio o transformador se encontra a vazio, não existindo, portanto, nenhum equipamento conectado no lado de alta tensão.

**c) RESULTADOS**

A figura 3.26 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de alta e de baixa tensão do transformador, onde foi feita a conexão do esquema laboratorial à rede de alimentação.



*Figura 3.26 – Formas de onda das tensões e correntes medidas no ensaio a vazio.*

**d) CONCLUSÕES**

Tomando-se como base a figura 3.26, pode-se observar que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 200 V ( $2,0 \times 100$  canal 1). O valor eficaz da tensão medida no lado de alta do transformador foi de aproximadamente 6.792 V ( $2,4 \times 100 \times 28,3$  canal 3).

Estes resultados se mostraram totalmente condizentes com o esperado, tendo em vista que a relação do transformador foi praticamente mantida (33,2 para 33,9).

No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado ficou em torno de 320 A ( $1,6 \times 200$  canal 4), enquanto que, no da alta do transformador, foi nulo (canal 2).

Esta corrente medida foi aproximadamente 16 vezes maior que o valor de pico da corrente nominal para o lado de baixa tensão do transformador. Tal fato pode ser justificado, pois o ensaio foi realizado a vazio, ou seja, sem a presença de nenhuma carga conectada no lado de alta do transformador.

Sendo assim, a corrente medida no lado de baixa tensão do transformador corresponde à corrente de energização (inrush) do equipamento. Para o ensaio aqui proposto, o transformador foi alimentado pelo lado da baixa tensão. A duração do evento perdurou aproximadamente 100 ms.

**3.7.2 – ENSAIO NA SITUAÇÃO DA QUEDA DOS CABOS DA MÉDIA NA BAIXA TENSÃO – CONDIÇÃO COM CARGA**

A título de ilustração da metodologia implementada, serão mostrados os ensaios em dois televisores.

**I) ENSAIO DA TV PHILCO 20 POLEGADAS – USADA****a) Objetivo do ensaio**

Este ensaio de sobretensão, provocado pela queda dos cabos da média tensão na baixa, tem por objetivo obter mais um ponto da curva de suportabilidade dielétrica de um aparelho televisor.

**b) Caracterização do ensaio**

Na frequência de 60 Hz, através de um transformador monofásico, aplica-se por um curto intervalo de tempo, fazendo-se uso de uma botoeira, uma tensão fase-neutro de 220 V no lado da baixa tensão, de maneira tal que no lado de alta, a tensão que será aplicada nos terminais dos equipamentos eletroeletrônicos seja 7.303 V.

Neste ensaio, foi utilizado como carga o televisor Philco 20 polegadas usado, sendo que o mesmo foi conectado no lado de alta tensão do transformador.

**c) Resultados**

A figura 3.27 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de alta tensão, lado em que os equipamentos eletroeletrônicos foram conectados. Mostra também a baixa tensão do transformador onde foi feita a conexão do esquema laboratorial à rede de alimentação da concessionária CEMIG.

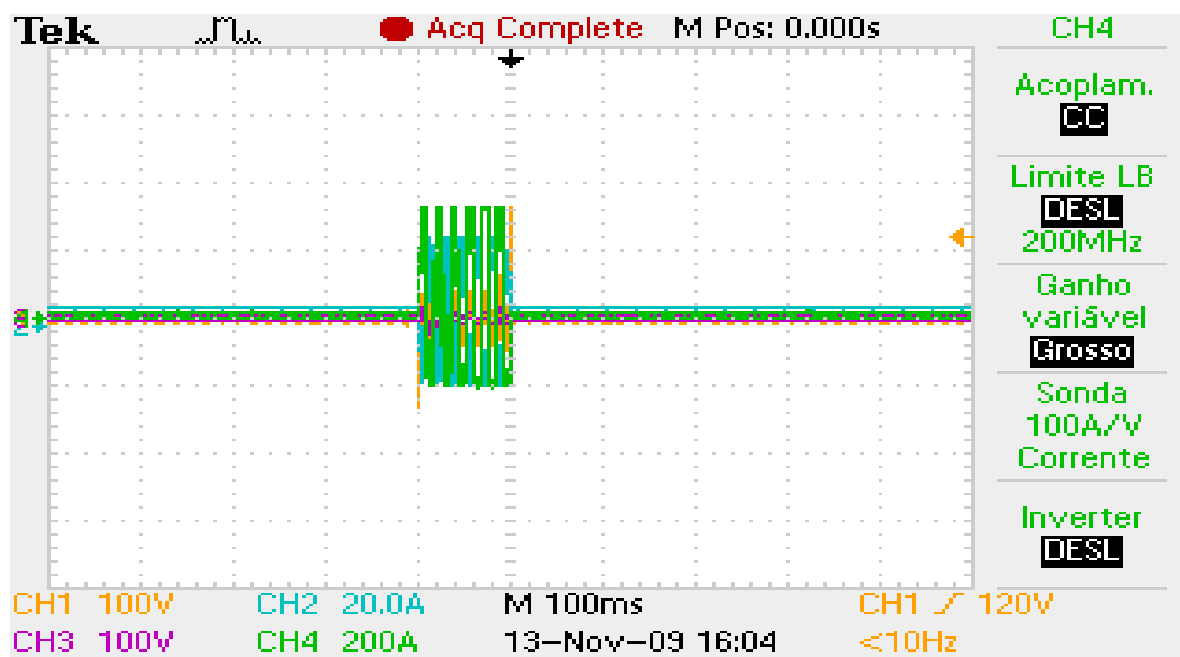


Figura 3.27 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o aparelho televisão Philco 20 polegadas usado.

#### d) Conclusões

Tomando-se como base a figura 3.27, pode-se observar que, no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 160 V ( $1,6 \times 100$  canal 1).

O valor eficaz da tensão medida no lado de alta do transformador foi de aproximadamente 600 V ( $0,21 \times 100 \times 28,3$  canal 3).

Sendo assim, para esta condição sob carga, o transformador não manteve sua relação de transformação para as tensões.

No que tange as correntes no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado ficou em torno de 320 A ( $1,6 \times 200$  canal 4), enquanto que, no lado da alta do transformador, foi de 24 A ( $1,2 \times 20$  canal 2).

Assim como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio.



Observa-se que a tensão foi elevada até 2,7 pu em relação ao seu valor nominal.

Nesse teste não se registrou o exato instante em que houve a elevação da corrente, indicando o dano ao equipamento. No entanto, esse tempo foi aproximadamente igual a 100 ms, correspondendo ao tempo de acionamento da botoeira.

As figuras 3.28 e 3.29 ilustram alguns detalhes físicos para a situação analisada. A realização deste ensaio resultou na queima do televisor.

O equipamento danificado foi levado a uma oficina credenciada para avaliação e conserto.

**e) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

Ao final destes ensaios, observou-se uma grande quantidade de componentes eletrônicos danificados do aparelho de TV sob teste.

Fusível, diodos da fonte de alimentação, regulador de tensão, circuito integrado STR50103 e outros componentes secundários foram os componentes danificados.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão-de-obra por este serviço são de aproximadamente R\$ 95,00.

A figura 3.29 ilustra o circuito elétrico danificado.



Figura 3.28 - Montagem Laboratorial

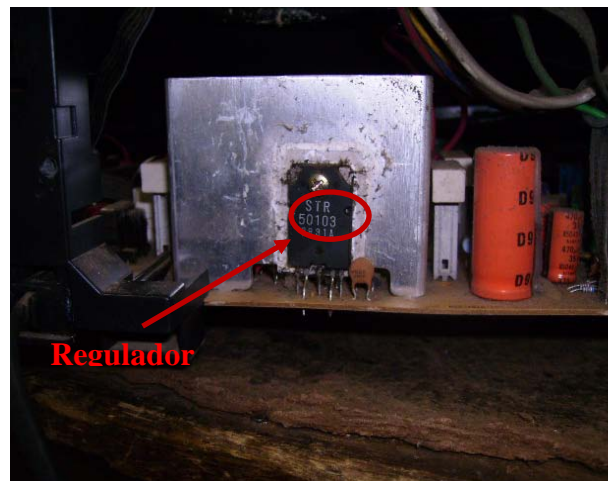


Figura 3.29 Um dos componentes danificados da TV Philco 20 polegadas (usado)

## II) ENSAIO DO TELEVISOR PHILIPS 29 POLEGADAS (NOVO)

De forma semelhante ao ensaio executado anteriormente, esse televisor também foi testado e levado a uma oficina credenciada para emissão de laudo técnico.

### a) Resultados

A figura 3.30 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente.

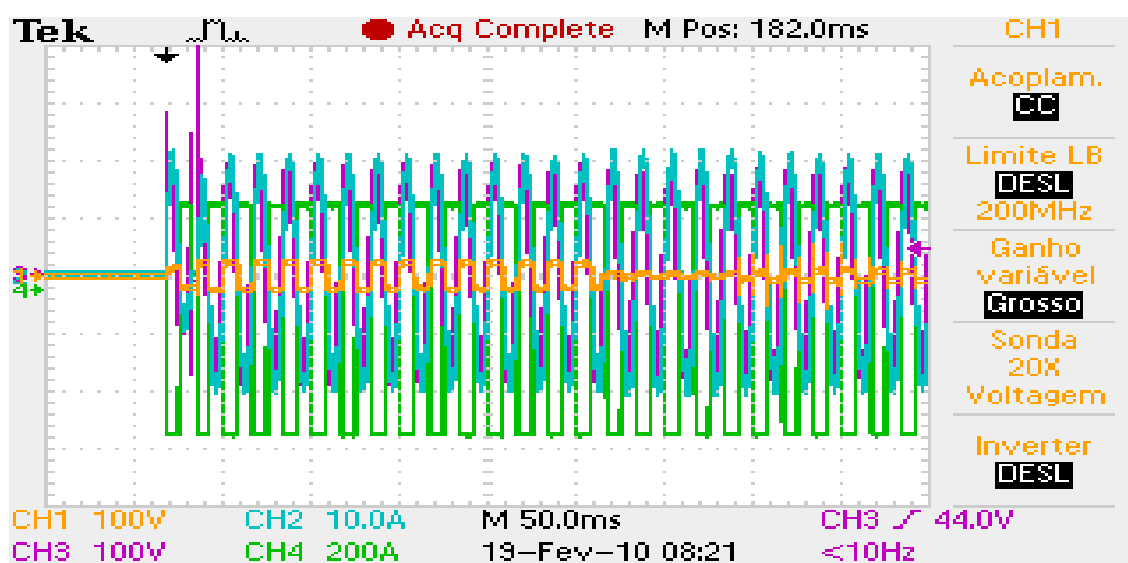


Figura 3.30 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o Televisor Philips 29 polegadas novo.

**b) Conclusões**

Tomando-se como base a figura 3.30, pode-se observar que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi cerca de 180 V ( $1,8 \times 100$  canal 3). O valor eficaz da tensão medida no lado de alta do transformador foi de aproximadamente 600 V ( $0,21 \times 100 \times 28,3$  canal 1).

Sendo assim, para esta condição sob carga, o transformador não manteve sua relação de transformação para as tensões. No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado ficou em torno de 560 A ( $2,8 \times 200$  canal 4), enquanto que no lado de alta foi de 22 A ( $2,2 \times 10$  canal 2). Assim como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio.

Da mesma forma, a realização deste ensaio resultou na queima do televisor.

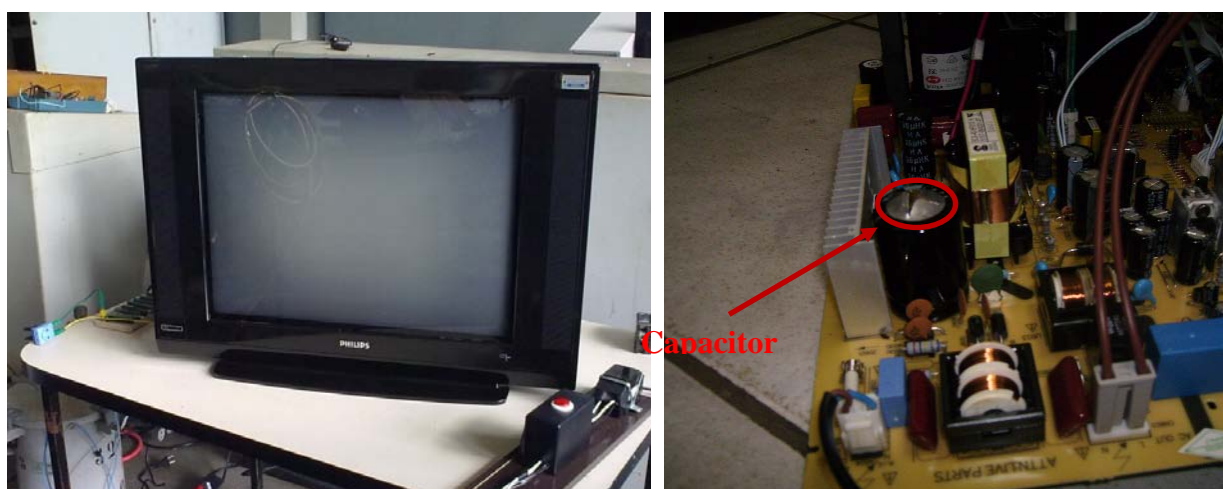
Observa-se que a tensão foi elevada até 2,7 pu em relação ao seu valor nominal. Nesse teste também não se registrou o exato instante em que houve a elevação da corrente, indicando o dano ao equipamento. No entanto, esse tempo foi aproximadamente igual a 230 ms, equivalente ao tempo de acionamento da botoeira.

**c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

Também observou-se uma grande quantidade de componentes eletrônicos danificados do televisor.

Fusível, regulador de tensão do primário, capacitor de filtro, diodos e resistores foram os componentes danificados.

O custo estimado para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão-de-obra por este serviço são de aproximadamente R\$ 200,00. A figura 3.31 (b) ilustra o circuito elétrico danificado. Pode-se observar que o capacitor de filtro chegou a explodir, indicando o vazamento de seu material dielétrico. Nos dois ensaios apresentados, após o conserto dos dois televisores, os mesmos funcionaram normalmente.



(a) Momento da danificação do equipamento      (b) Um dos componentes danificados da TV

*Figura 3.31 – Ensaio representativo da queda dos cabos da média tensão na baixa – Ensaio com o Televisor Philips 29 polegadas novo.*

### **3.8 - ENSAIOS DE IMPULSOS DE TENSÃO E CORRENTE ASSOCIADOS COM AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

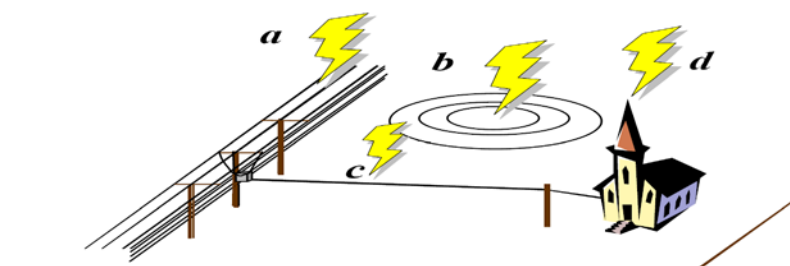
As descargas atmosféricas apresentam um alto poder destrutivo, dada a intensidade da corrente do raio que pode variar entre 2 e até 200 kA, com duração reduzida de tempo na faixa de dezenas de microsegundos [1,3 e 10].

Conforme destacado no Capítulo II, ao lado dos religamentos, as descargas atmosféricas são as maiores causadoras de distúrbios na rede elétrica, provocando danos em equipamentos eletroeletrônicos.

As sobretensões de origem atmosférica podem atingir as cargas consumidoras fundamentalmente através de quatro diferentes ocorrências: a transferência de surtos originados na média tensão (a) através do transformador de distribuição, as descargas indiretas (b) que originam tensões induzidas, descargas atmosféricas diretas na rede de baixa tensão (c) e a incidência de descargas diretamente sobre as edificações (d).

A disseminação de um surto na rede elétrica gerado por uma descarga atmosférica direta ou indireta pode se propagar pela mesma até alcançar a unidade consumidora. A intensidade e a forma das solicitações associadas a este processo são dependentes de inúmeros fatores. Seu grau de severidade pode alcançar níveis críticos, tanto do ponto de vista dos equipamentos instalados na rede, quanto dos consumidores a ela conectados.

A título de ilustração, a figura 3.32 ilustra as quatro ocorrências de descargas atmosféricas citadas.



- a – descarga atmosférica direta na média tensão;*
- b – descarga atmosférica indireta;*
- c – descarga atmosférica direta na baixa tensão;*
- d – descarga atmosférica direta sobre edificações.*

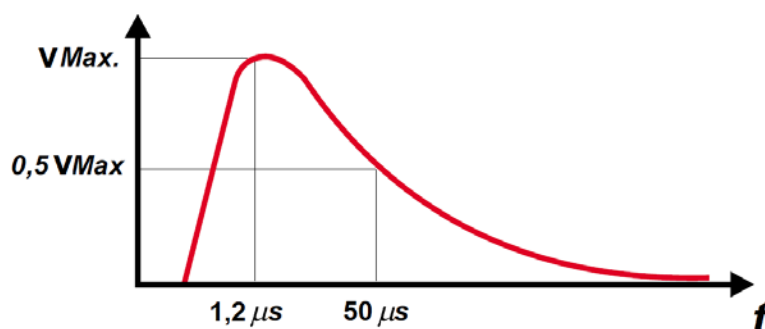
*Figura 3.32 – Interação entre as descargas atmosféricas e as redes de distribuição.*

Estudos efetuados por instituições de pesquisa indicam que nas áreas urbanas, com relação à definição dos valores de corrente que finalmente atingem uma unidade consumidora em baixa tensão, o valor médio da corrente de surto está entre 1,2 a 5 kA e que em apenas 15% dos casos, as correntes

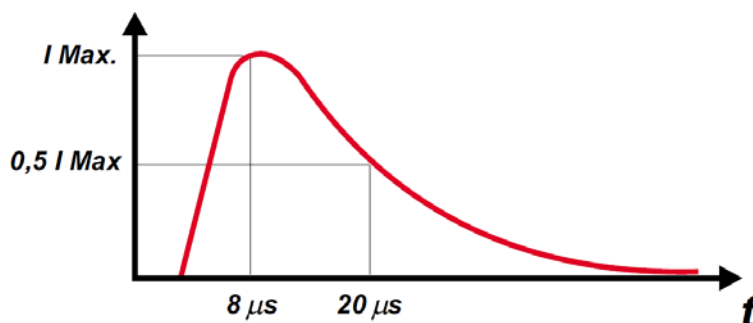
excederiam 5 kA, sendo que a probabilidade de ocorrência de uma corrente com valor superior a 25 kA na entrada do consumidor numa localidade com altas incidência de raios é de “uma” ocorrência a cada 4115 anos, segundo informações de catálogos de fabricantes de dispositivos de proteção.

A caracterização das ondas de tensão e corrente solicitantes junto ao consumidor é internacionalmente padronizada pelas normas IEEE C6241, IEEE C6234, IEEE C6245, IEC 61643-1, IEC 61000-4-5, etc [10,11 e 12].

A caracterização do impulso de tensão é que ela necessita de 1,2 microsegundos para atingir o valor máximo e diminuindo em 50 microsegundos à metade do valor de pico. Para a onda de corrente, ela necessita de 8 microsegundos para atingir o valor máximo e em 20 microsegundos, reduz o valor à metade.



*Figura 3.33 – Forma de Onda para Impulso de Tensão.*



*Figura 3.34 – Forma de Onda para Impulso de Corrente.*

Pelo exposto acima, torna-se imprescindível a realização de ensaios destrutivos simulando descargas atmosféricas cuja propagação pode atingir e danificar os televisores.

Neste sentido, este item segue na direção de complementar o levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica, através da obtenção de um ponto caracterizado pelos surtos atmosféricos.

### **3.8.2 - SISTEMATIZAÇÃO DE TESTES DE IMPULSO PARA LEVANTAMENTO DAS CURVAS DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA E TÉRMICA**

Conforme descrito anteriormente, a região 1 da curva de suportabilidade dielétrica, figura 3.2, está relacionada aos transitórios impulsivos de alta frequência, que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em uma instalação.

Por outro lado, para a obtenção das curvas de suportabilidade térmica, optou-se pela utilização do conceito da integral de joule ( $I^2t$ ) para representar os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma situação de sobrecorrente.

Assim, para a realização dos ensaios experimentais vinculados com os transitórios impulsivos de alta frequência foi utilizada toda a estrutura das instalações do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá. Os principais equipamentos necessários para os testes foram um gerador de impulso de tensão no padrão 1,2 x 50us e outro de corrente típico padronizado em 8 x 20us.

As características do gerador de impulso de tensão são: marca Haefely de 1,2 KJ – 450 kV em sua conexão 6p – 1s (um estágio de seis capacitores em paralelo), na qual a tensão máxima de ensaio é de 75 kV.



Os oscilogramas foram registrados com o osciloscópio Tektronix TDS3034, sendo o canal 1 o sinal de tensão e, o canal 2, o sinal da corrente resultante. A figura 3.35 ilustra o gerador de impulso de tensão utilizado para a realização dos testes.



*Figura 3.35 - Gerador de impulso de tensão Haefely 1,2 KJ – 450 kV da UNIFEI.*

Para os ensaios de impulso de corrente foi utilizado o gerador de impulso de corrente de curta duração. Os oscilogramas foram registrados com o osciloscópio Tektronix, sendo o canal 1 o sinal de impulso de corrente e o canal 2 a tensão resultante.

A figura 3.36 ilustra a montagem experimental para a realização dos testes laboratoriais.



*Figura 3.36 - Gerador de impulso de corrente.*

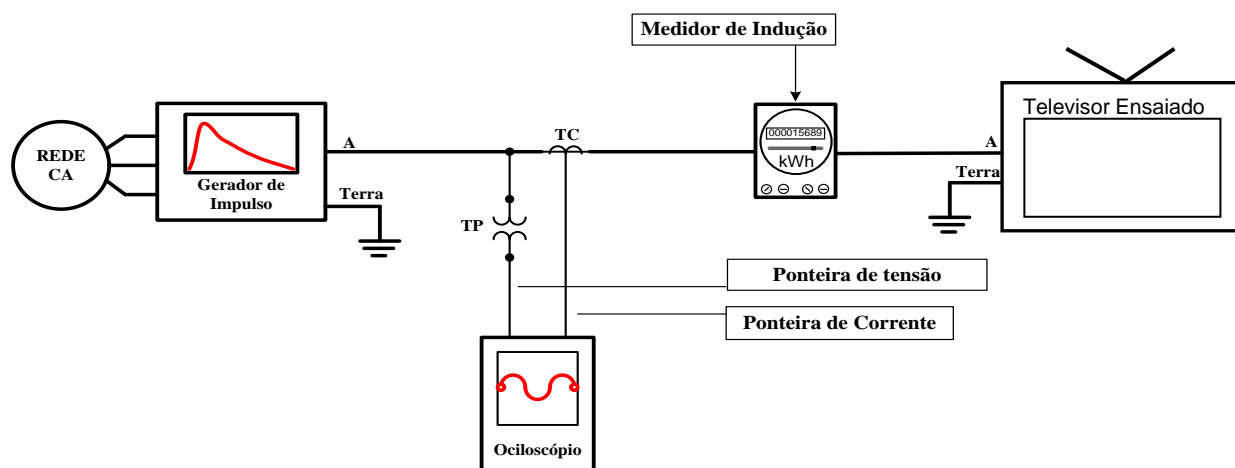


### **3.8.3 – ENSAIOS DE IMPULSO DE CORRENTE NOS TELEVISORES**

Tomando-se como base a fundamentação teórica apresentada, é possível a obtenção de um ponto das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica dos eletroeletrônicos. Neste contexto, a estratégia empregada consiste na realização de ensaios destrutivos com a aplicação de impulsos típicos de corrente padrão de  $8/20\mu s$ .

Na prática, os valores obtidos depois de uma série de ajustes no gerador de impulsos de corrente, foi uma onda de impulso de aproximadamente  $7,95 / 19,5 \mu s$ , o que não prejudica os objetivos dos ensaios.

A figura 3.37 ilustra a montagem laboratorial necessária para o levantamento de um ponto da curva de suportabilidade térmica e dielétrica dos aparelhos de TV.



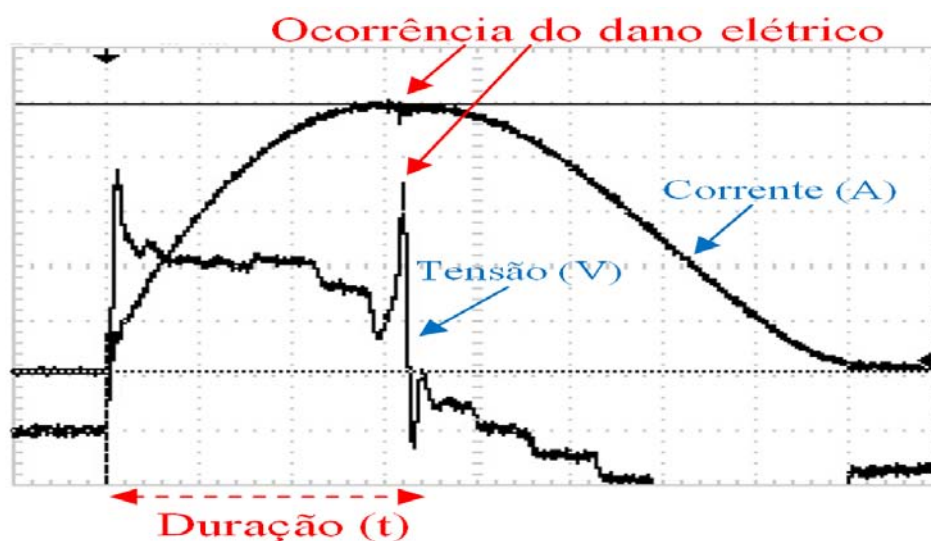
*Figura 3.37 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial para levantamento das curvas de suportabilidade*

A figura 3.38 ilustra a montagem laboratorial indicada pelo diagrama esquemático anterior, podendo observar o gerador de impulso de corrente ligado a um televisor sob ensaio.



*Figura 3.38 – Detalhes da Montagem Laboratorial.*

A figura 3.39 ilustra a aplicação de um impulso de corrente em um equipamento eletroeletrônico. Pela análise dos resultados obtidos para os impulsos de corrente é possível obter o tempo de exposição do equipamento ao impulso atmosférico até o instante da ocorrência do dano elétrico (Duração).



*Figura 3.39 – Impulso de corrente aplicado a um eletroeletrônico.*

Complementarmente, pode-se verificar o máximo valor da corrente durante este intervalo de tempo. Portanto, a máxima energia suportada pelo televisor é então obtida pela equação (3.9), ou seja, a integral de Joule aplicada à figura 3.39.

$$\int_0^t [i(t)]^2 \cdot dt = I^2 t = J = cte \quad (3.9)$$

Onde:  $i$  é o valor instantâneo atingido pela corrente no instante  $t$ .

De posse da máxima energia admitida pelo equipamento ( $J$ ), pode-se traçar a curva de suportabilidade térmica utilizando-se, para tanto, a equação (3.11):

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (3.11)$$

Dentro do exposto, mostram-se a seguir os testes experimentais aplicados em alguns televisores, onde o objetivo e caracterização dos ensaios são comuns aos aparelhos e comentados a seguir:

- **Objetivo do ensaio**

Este ensaio destrutivo tem por objetivo determinar pontos da região 1 da curva de suportabilidade dielétrica e térmica dos televisores.

Ao final, pode observar os principais componentes eletrônicos danificados do televisor mencionado, quando submetido a uma descarga atmosférica.

Todos os equipamentos danificados foram encaminhados posteriormente para uma oficina especializada e credenciada para a elaboração de laudos técnicos.

- **Caracterização do ensaio**

Com o gerador citado anteriormente é aplicado um impulso de corrente padrão, aproximadamente  $8/20 \mu s$ , simulando uma descarga atmosférica, resultando conseqüentemente em danos físicos ao equipamento.

A escala da corrente é dada por 200 a/volts, enquanto a escala de tempo corresponde a 5 $\mu$ s/divisão.

A fim de que se obtenha o valor real para a corrente e tensão durante os ensaios, o valor do impulso da corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o impulso da tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo esses fatores de multiplicação válidos para todos os ensaios.

- **Ensaio com DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos)**

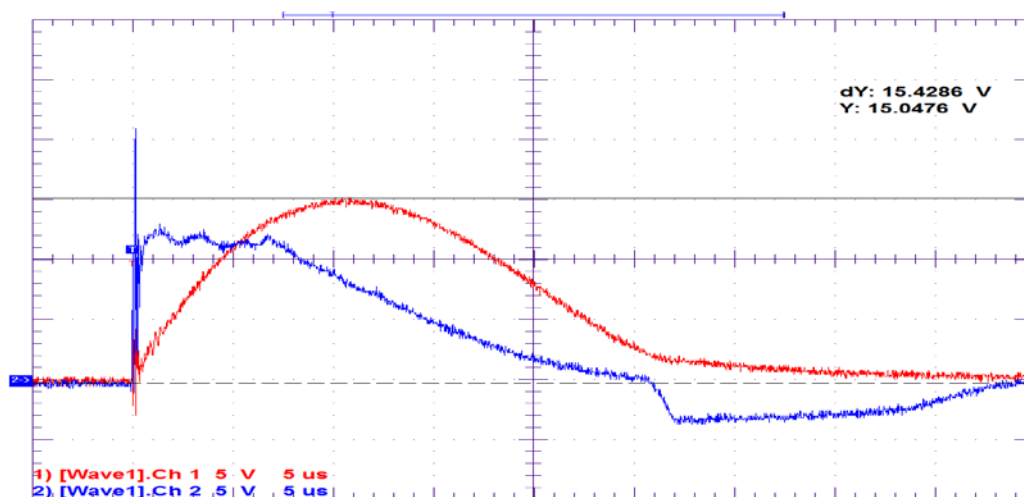
Complementando os aspectos abordados anteriormente, neste item também serão apresentados os ensaios de impulso de corrente nos televisores na presença de dispositivos mitigadores.

Finalmente, deve-se citar que toda a abordagem associada com o DPS encontra-se detalhada na referência [10].

### **3.8.3.1 – ENSAIOS REALIZADOS NA TV LG USADA DE 20 POLEGADAS**

#### **a) Resultados**

Neste ensaio, o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) não foi avaliado e uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.40 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da corrente e da tensão, coletados pelos canais 1 e 2 respectivamente.



*Figura 3.40 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio (Sem DPS).*

### **b) Conclusões**

Diante dessa primeira situação, a aplicação do impulso de corrente resultou na queima do televisor. Os resultados apresentados pela figura 3.40 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico 3080 A (15,4 x 200). Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 6,76  $\mu$ s, quando o valor de tensão registrado foi de 3862 V (12,4 x 311).

### **c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

O único componente eletrônico danificado no aparelho de TV LG, usado, 20” foi o fusível. Após a substituição do componente queimado, o aparelho televisor foi testado, sendo que o mesmo voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar nenhum problema. Valor do fusível = R\$ 0,50    Valor da mão-de-obra = R\$ 55,00.

A figura 3.41 ilustra o circuito elétrico danificado.

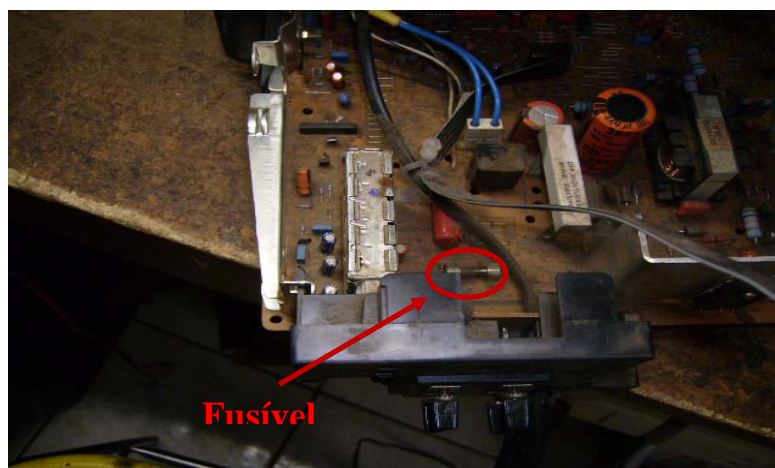


Figura 3.41 – Componente elétrico danificado da TV.

### 3.8.3.2– ENSAIOS REALIZADOS NA TV PHILLIPS NOVA DE 21 POLEGADAS

#### a) Resultados

A figura 3.42 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e a tensão. Também nesse caso o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) não foi avaliado.

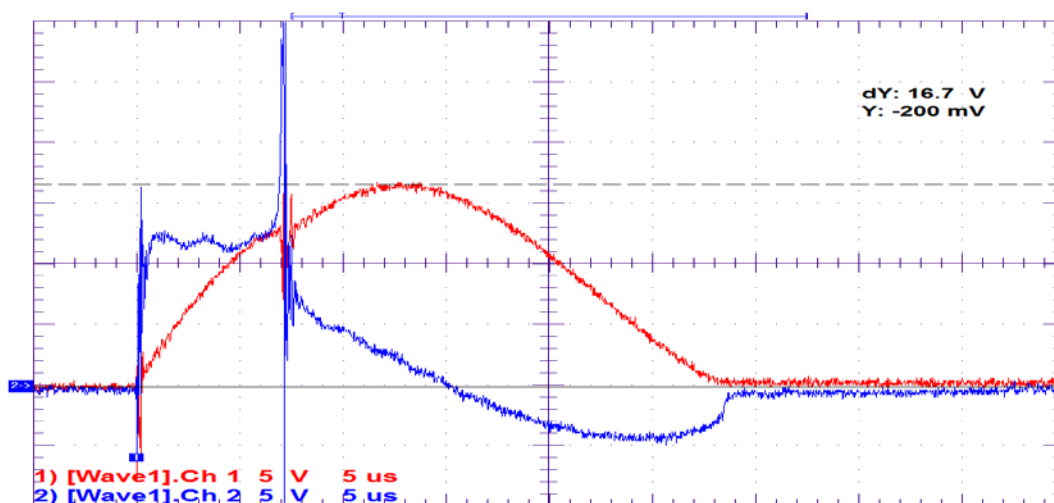


Figura 3.42 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio (Sem DPS).

### **b) Conclusões**

Com a aplicação do impulso de corrente houve a queima do televisor. Os resultados apresentados pela figura 3.42 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 3340 A (16,7 x 200).

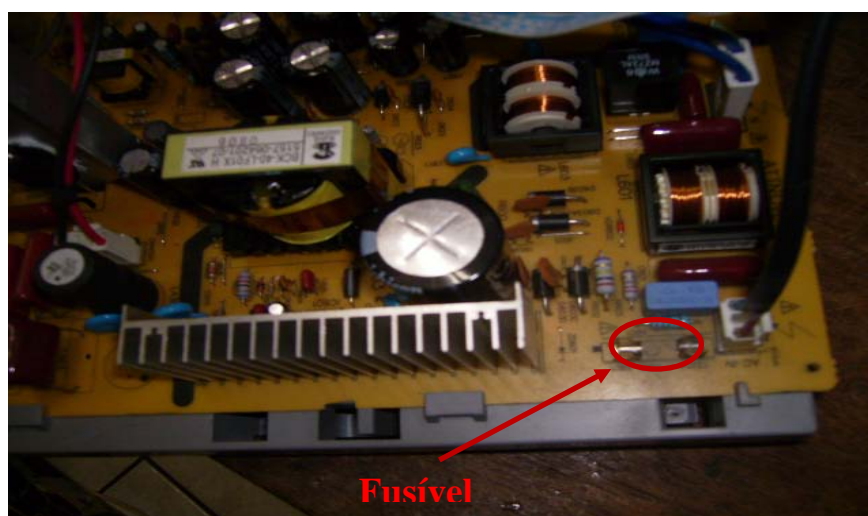
Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 7,25  $\mu$ s, momento em que a tensão alcançou o valor de 3980 V (12,8 x 311).

### **c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

Pode se observar que neste caso, mais uma vez, o único componente eletrônico danificado no aparelho de TV Phillips, nova, 21” também foi o fusível.

Após a substituição do componente queimado, o aparelho televisor voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar nenhum problema. Valor do fusível = R\$ 0,50    Valor da mão-de-obra = R\$ 55,00.

A figura 3.43 ilustra o circuito elétrico danificado.



*Figura 3.43 – Componente elétrico danificado da TV.*

### 3.8.3.3 – ENSAIOS REALIZADOS NA TV PHILLIPS NOVA DE 29 POLEGADAS

#### a) Resultados

Neste ensaio, o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) foi avaliado e os resultados obtidos após os ensaios podem ser observados nas formas de ondas das figuras 3.44a e 3.44b, onde os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e a tensão.

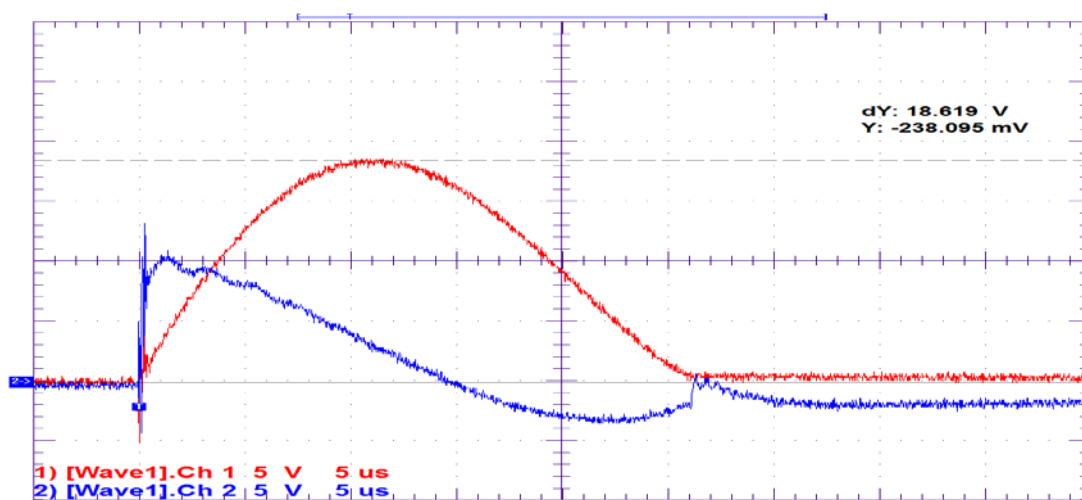


Figura 3.44a – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio (com DPS)

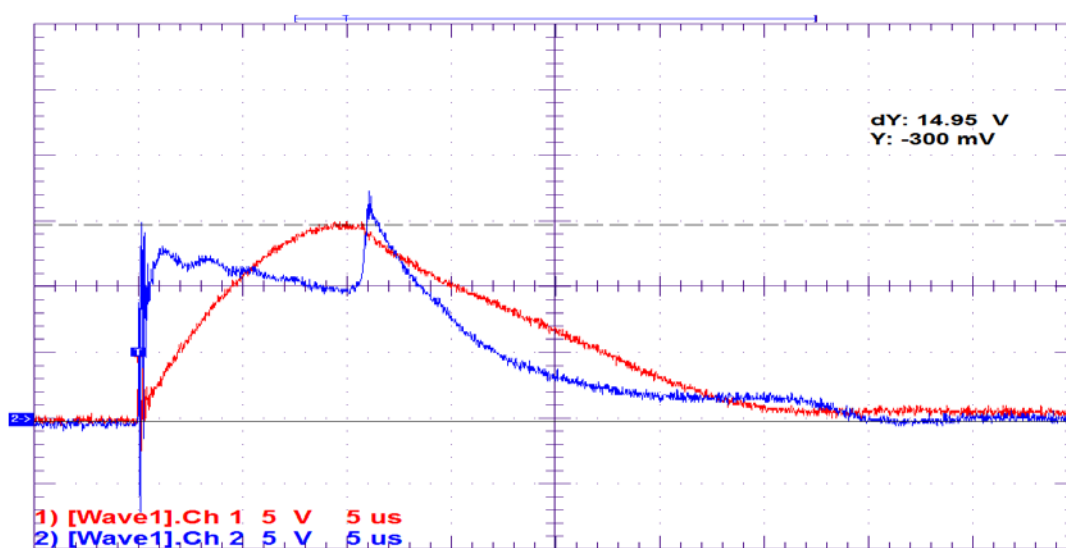


Figura 3.44b – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio (sem DPS).



### **b) Conclusões**

Os resultados apresentados pela figura 3.44a demonstram que o impulso de corrente aplicado no primeiro ensaio com a presença do DPS não causou nenhum dano ao equipamento ensaiado.

No segundo ensaio, sem a presença do DPS, o televisor danificou-se.

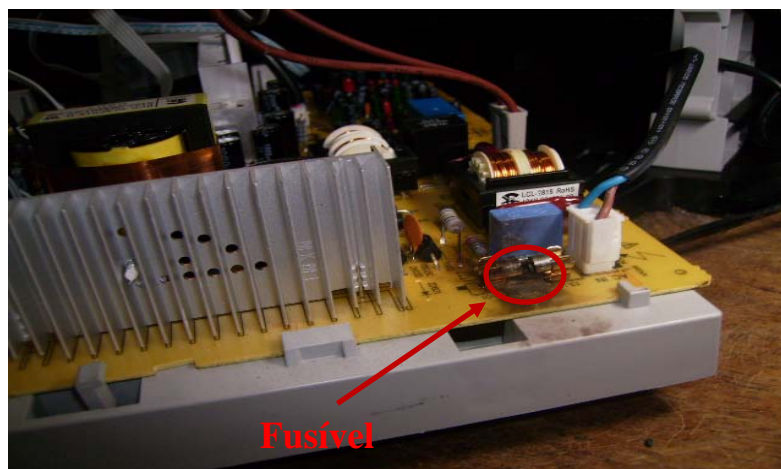
Os resultados apresentados pela figura 3.44b demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 2990 A ( $14,95 \times 200$ ).

Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 11,1  $\mu$ s. Neste instante de tempo, a tensão foi de 5287 V ( $17 \times 311$ ).

### **c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

O único componente eletrônico danificado no aparelho de TV Phillips, nova, 29” também foi o fusível e que após a sua substituição, o televisor funcionou normalmente. Valor do fusível = R\$ 0,50 Valor da mão-de-obra = R\$ 55,00.

A figura 3.45 ilustra o circuito elétrico danificado.

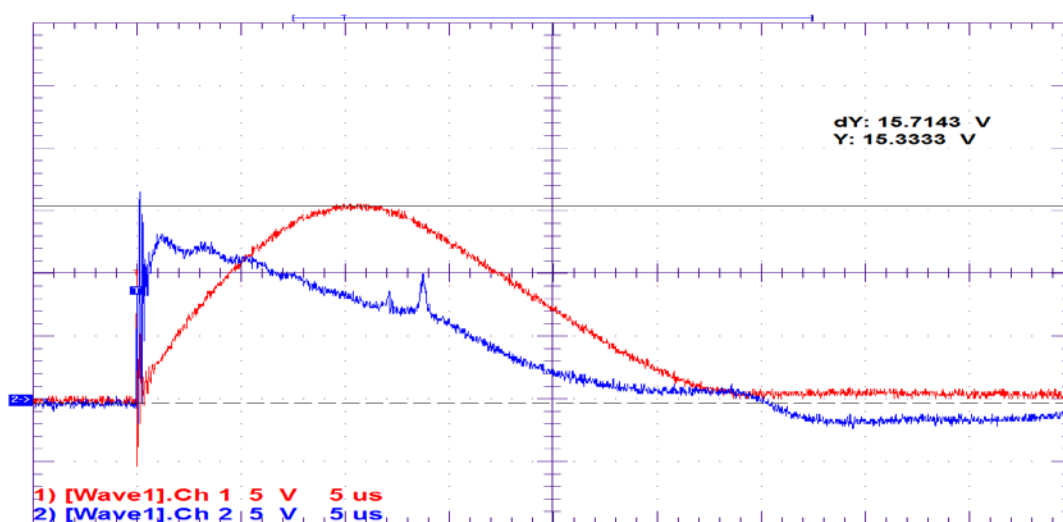


*Figura 3.45 – Componente elétrico danificado da TV.*

### 3.8.3.4 – ENSAIOS REALIZADOS NA TV PHILLIPS USADA DE 29 POLEGADAS

#### a) Resultados

Os resultados obtidos nesse ensaio destrutivo podem ser observados na figura 3.46. Os canais 1 e 2 representam, respectivamente, a corrente e a tensão. Neste ensaio, o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) não foi avaliado.



*Figura 3.46 – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (Sem DPS).*

#### b) Conclusões

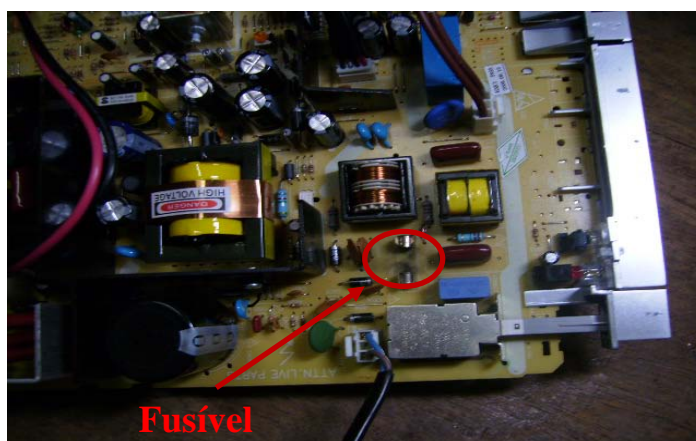
Após a aplicação do impulso de corrente, o televisor também foi danificado. Os resultados apresentados pela figura 3.46 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 3142 A ( $15,71 \times 200$ ). Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de  $12,0 \mu\text{s}$ . Neste instante de tempo, a tensão registrada foi de 2800 V ( $9 \times 311$ ).

**c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

O televisor Phillips, usado, 29” apresentou somente a queima de um único componente eletrônico, que foi o fusível e após a sua substituição, o televisor funcionou normalmente.

Valor do fusível = R\$ 0,50    Valor da mão-de-obra = R\$ 55,00.

A figura 3.47 ilustra o circuito elétrico danificado.



*Figura 3.47 – Componente danificado da TV.*

**3.8.3.5 – ENSAIOS NA TV PANASONIC NOVA DE 29 POLEGADAS**

**a) Resultados**

Neste caso, foi avaliado o desempenho do dispositivo de proteção contra surtos (DPS). As figuras 3.48a e 3.48b mostram os resultados obtidos e suas formas de ondas dos canais 1 e 2 que representam respectivamente a corrente e tensão.

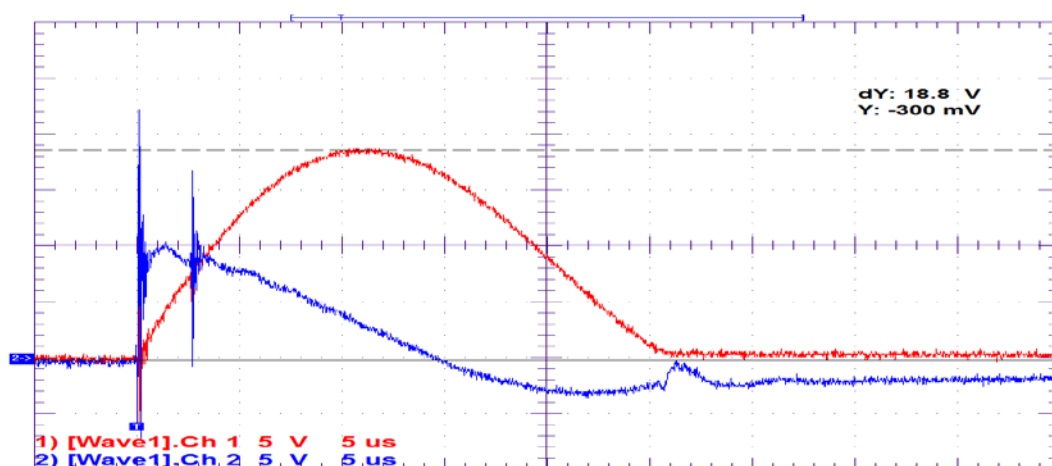


Figura 3.48a – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (com DPS)

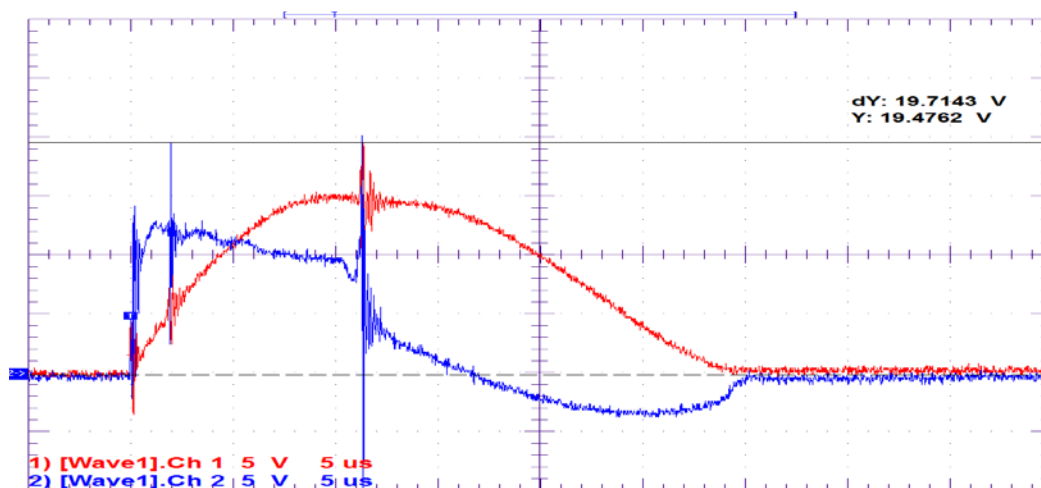


Figura 3.48b – Formas de onda da corrente e tensão aplicadas (sem DPS)

## b) Conclusões

Os resultados apresentados pela figura 3.48a demonstram que o impulso de corrente aplicado no primeiro ensaio, com a presença do DPS, não causou nenhum dano ao equipamento ensaiado. No segundo ensaio, sem a presença do DPS, o televisor danificou-se após a aplicação do impulso de corrente. Os resultados apresentados pela figura 3.48b demonstram que o impulso de corrente obteve um valor de pico de 3942 A ( $19,71 \times 200$ ). Nestas condições, pode-se

observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 11,38  $\mu$ s, quando a tensão registrou 4665 V (15 x 311).

**c) Laudo técnico da oficina especializada e credenciada pela CEMIG-D**

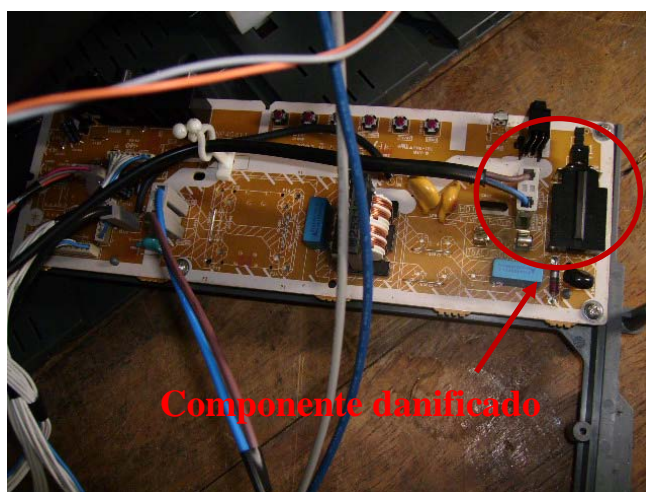
Os componentes eletrônicos danificados no aparelho de TV Panasonic, novo, 29” foram o fusível e a chave Power (liga / desliga). Após a substituição dos mesmos, o aparelho de TV voltou a funcionar normalmente.

Valor do fusível = R\$ 0,50

Valor da chave Power R\$ 25,00

Valor da mão-de-obra = R\$ 75,00.

A figura 3.49 ilustra o circuito elétrico danificado.



*Figura 3.49 – Chave Power danificada da TV neste ensaio.*

### **3.8.4 – ENSAIOS DE IMPULSO DE TENSÃO EM APARELHOS DE TV**

Os impulsos de tensão aplicados aos televisores durante os ensaios não danificaram os equipamentos.

Após uma verificação dos resultados, constatou-se que, para fenômenos desta natureza, ocorre a atuação de um dispositivo de proteção presente no circuito interno da fonte de alimentação do equipamento, conhecido como supressor de surto ou simplesmente varistor.

Este componente é, essencialmente, composto por uma resistência não linear que possui os mesmos atributos e princípio de funcionamento do DPS [10, 11] (dispositivo de proteção contra surtos), contudo com menor capacidade de dissipação térmica, pelo fato de ter sido projetado para promover a limitação das oscilações da rede elétrica em níveis admissíveis pelo equipamento.

Isto posto, foi necessário o aprimoramento do modelo computacional do televisor.

A modelagem computacional do varistor foi implementada no software ATP, utilizando o componente resistor não linear tipo 99, um capacitor e um indutor.

Portanto, os ensaios de impulso de tensão não contribuíram para a obtenção de pontos da região 1 da curva de suportabilidade dos televisores (figura 3.2), no entanto, contribuíram para o aprimoramento do modelo computacional do televisor.

### **3.9– CONCLUSÕES FINAIS**

Este capítulo apresentou a metodologia e os ensaios para o levantamento das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica dos televisores.

Os ensaios de sobretensões na frequência industrial foram realizados na Universidade Federal de Uberlândia e aplicados em televisores novos e usados, cujo objetivo foi provocar o dano físico ao equipamento para determinação de pontos da sua curva de suportabilidade dielétrica. Da mesma forma, ensaios laboratoriais associados com as sobretensões devido à queda dos cabos da média na baixa tensão, também foram realizados.

Os ensaios de impulsos de corrente e de tensão foram realizados no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e tiveram como objetivo principal a obtenção de pontos representativos da região

1 da curva de suportabilidade dielétrica e a energia máxima para a curva de suportabilidade térmica dos equipamentos ensaiados.

Observou-se que os ensaios de impulso de corrente, na sua forma de onda padronizada aproximada (8/20 $\mu$ s), resultaram na queima dos equipamentos.

Também constatou-se que a fonte de alimentação do televisor foi o único circuito que foi danificado, o que pode ser justificado por ser a interface com o sistema elétrico da concessionária.

Ainda, mergulhando sobre os danos na fonte de alimentação da TV, observa-se que o fusível foi um componente danificado em todos os ensaios realizados e em apenas um caso, teve-se a chave Power danificada. Isto pode ser explicado pelo fato de que o efeito térmico foi a característica mais expressiva para os ensaios em questão.

Também, para avaliar o desempenho dos dispositivos de proteção contra surto, DPS, [10 e 11], alguns televisores foram protegidos com esses equipamentos durante os ensaios destrutivos de impulsos de corrente. Ao final destes testes, pode-se verificar que nenhum televisor apresentou qualquer dano, ou seja, obteve-se 100 % de proteção para os casos ensaiados.

Por outro lado, os ensaios de impulsos de tensão, devido à atuação dos varistores presentes nas fontes dos televisores não contribuíram para a obtenção de pontos da curva de suportabilidade, no entanto, foram úteis para o aprimoramento do modelo computacional do televisor.

## CAPÍTULO IV

---

### Curvas de suportabilidade dos televisores e estudos de casos

#### 4.1 – Considerações Iniciais

Esse capítulo tem por objetivo apresentar as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica dos televisores, destacando-se como uma das maiores contribuições desta dissertação de mestrado.

Conforme mencionado no capítulo anterior, uma série de ensaios foi elaborada, buscando encontrar os pontos que permitissem a construção das referidas curvas.

Dessa forma, pode-se confrontar os indicadores das solicitações dielétricas e térmicas impostas aos televisores, com vistas a verificar a possibilidade de danos físicos aos mesmos em função de suas respectivas curvas de suportabilidade.

Por fim, casos reais de pedidos de clientes, solicitando indenizações por televisores danificados por supostos distúrbios na rede elétrica da Cemig Distribuição S.A. são estudados com a aplicação das novas curvas de suportabilidade obtidas.

Estas análises serão feitas através do Analisador de Pedidos de Ressarcimento, designado por APR- 3.0 CEMIG, que passou a incluir todas as alterações e inovações adquiridas durante o desenvolvimento desse trabalho.



## **4.2 - Apresentação das curvas de suportabilidade térmica**

Conforme apresentado no capítulo 3, as curvas de suportabilidade térmica dos televisores são calculadas, tomando-se como base o conceito da integral de Joule.

Assim, de posse das curvas da corrente elétrica em função do tempo, obtidas pelo osciloscópio durante os ensaios destrutivos vinculados com as descargas atmosféricas, essas funções no domínio do tempo são integradas, iniciando-se em  $t = 0$  até o tempo em que se registrou o dano ao equipamento. Desta forma, o resultado dessa integração é a energia máxima admitida pelo televisor.

Uma vez calculada a energia máxima admissível pelo equipamento, a curva de suportabilidade térmica é obtida pelas equações mostradas no capítulo anterior.

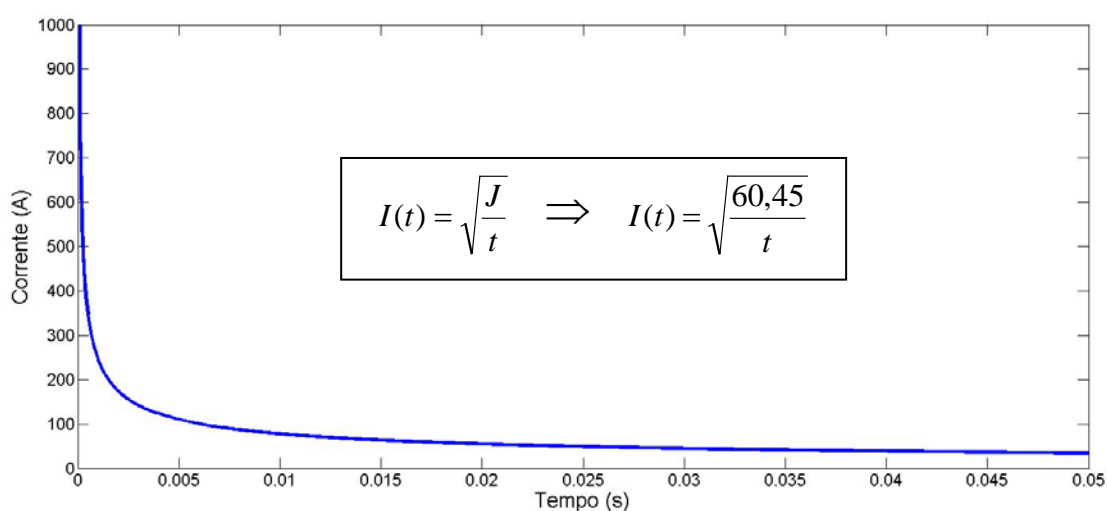
Desta forma, a tabela 4.1 indica uma síntese dos resultados laboratoriais obtidos durante os ensaios de impulso de corrente, ou seja, os valores de corrente (I), tempo (t) e a máxima energia admissível (J) para alguns dos televisores contemplados neste trabalho.

*Tabela 4.1 – Síntese dos resultados laboratoriais obtidos nos ensaios de impulso de corrente*

| <b>Televisores</b> | <b>Duração t(<math>\mu</math>s)</b> | <b>Corrente Máx. (A)</b> | <b>Energia J(A<sup>2</sup>· s)</b> |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Panasonic 29' nova | 11,38                               | 3942                     | 60,45                              |
| Philips 29' nova   | 11,10                               | 2990                     | 67,22                              |
| Philips 29' usada  | 12,00                               | 3142                     | 55,62                              |
| Philips 21' nova   | 7,25                                | 3340                     | 24,42                              |
| LG 20' usada       | 6,76                                | 3080                     | 20,56                              |

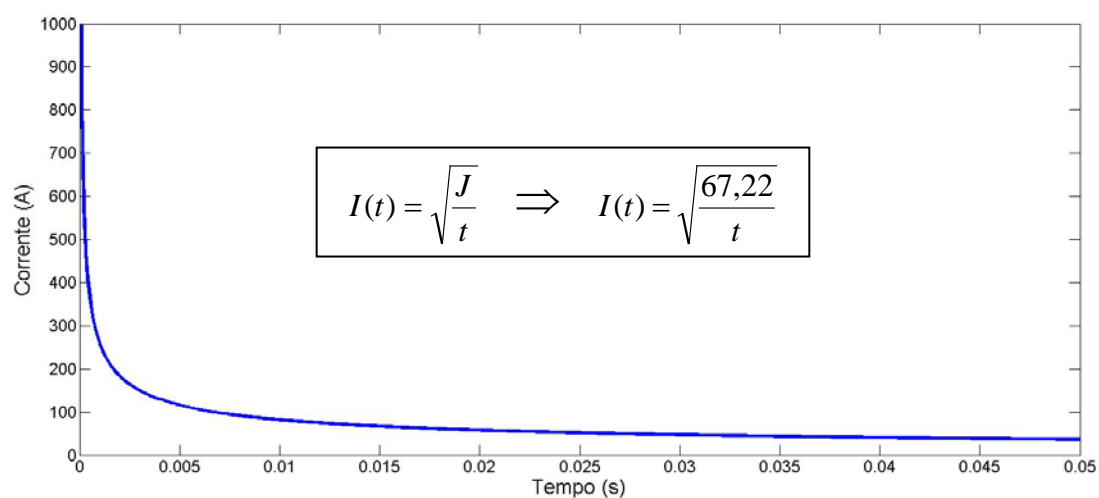
Dentro deste contexto, conforme a estratégia já apresentada e discutida, são traçadas as curvas de suportabilidade térmica para alguns dos televisores investigados.

### 4.2.1 - Televisor Panasonic 29” novo



*Figura 4.1 – Curva de suportabilidade térmica do Televisor Panasonic 29”novo*

### 4.2.2 – Televisor Philips 29” novo



*Figura 4.2 – Curva de suportabilidade térmica do televisor Philips 29”novo*

### 4.2.3 - Televisor Philips 29” usado

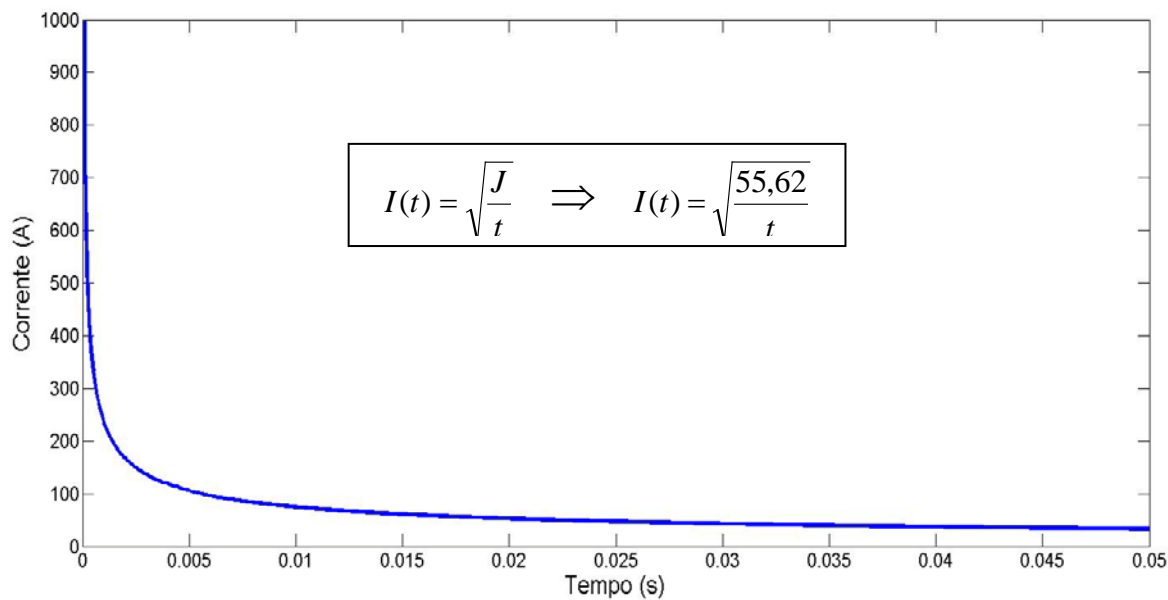


Figura 4.3 – Curva de suportabilidade térmica do televisor Philips 29” usado

### 4.2.4 - Televisor Philips 21” novo

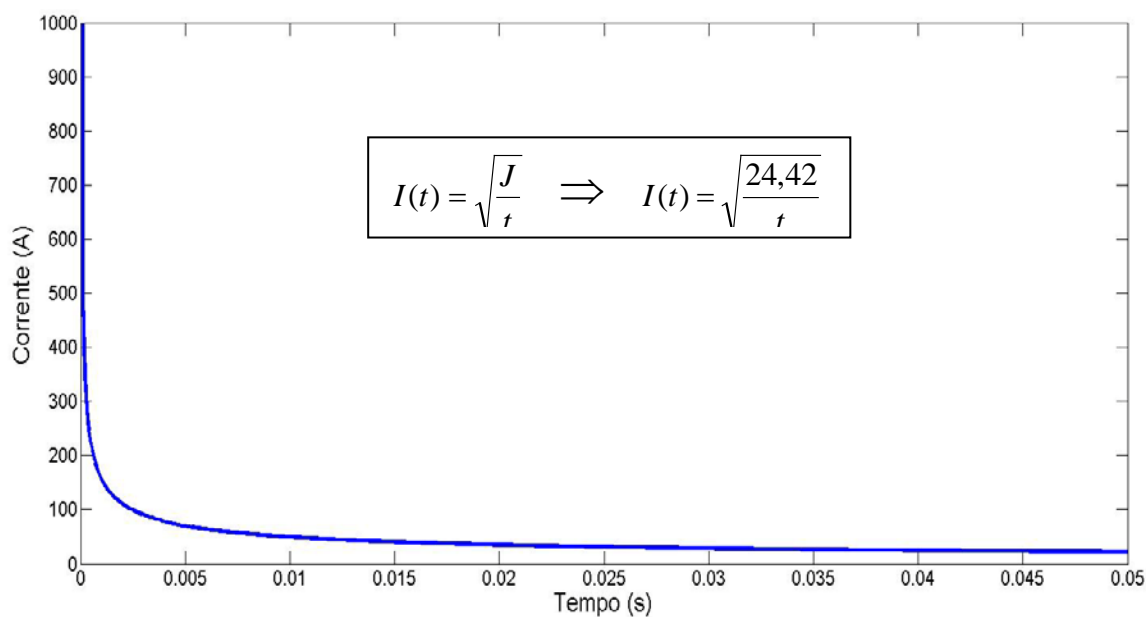
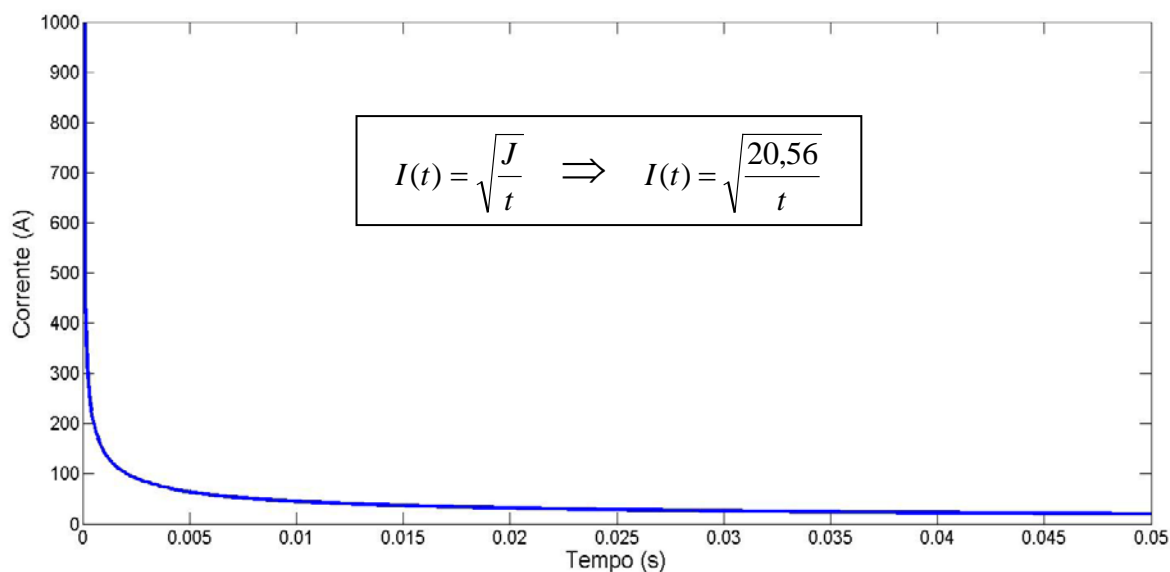


Figura 4.4 – Curva de suportabilidade térmica do televisor Philips 21” novo

### **4.2.5 - Televisor LG 20” usado**



*Figura 4.5 – Curva de suportabilidade térmica do televisor LG 20” usado*

### **4.2.6 -Utilização das Curvas de Suportabilidade Térmica no Aplicativo APR**

As curvas de suportabilidade térmica obtidas anteriormente foram incluídas diretamente no aplicativo APR 3.0-CEMIG. No entanto, há uma outra forma de obter as curvas apresentadas.

Neste sentido, existe um campo específico para a inserção do valor da energia máxima admissível pelo equipamento sob análise que, através da metodologia apresentada, irá traçar as curvas de suportabilidade térmica supramencionadas.

A figura 4.6 ilustra este processo.

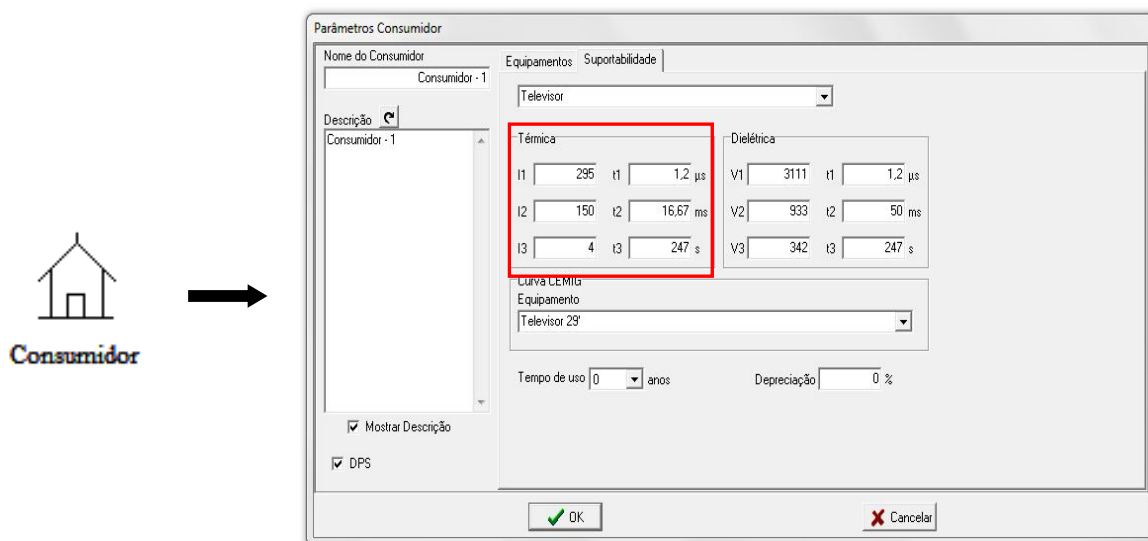


Figura 4.6 – Inserção da curva de suportabilidade térmica no APR

### 4.3 - Apresentação das curvas de suportabilidade dielétrica

Conforme abordado no capítulo 3, as formas típicas encontradas para as curvas de suportabilidade dielétrica sugerem a utilização de funções logarítmicas para a sua representação matemática.

Dessa forma, aplicando-se a metodologia desenvolvida, obtém-se as curvas de suportabilidade dielétrica dos eletroeletrônicos através da verificação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento.

A figura 4.7 ilustra a aplicação de uma sobretensão típica em um equipamento eletroeletrônico.

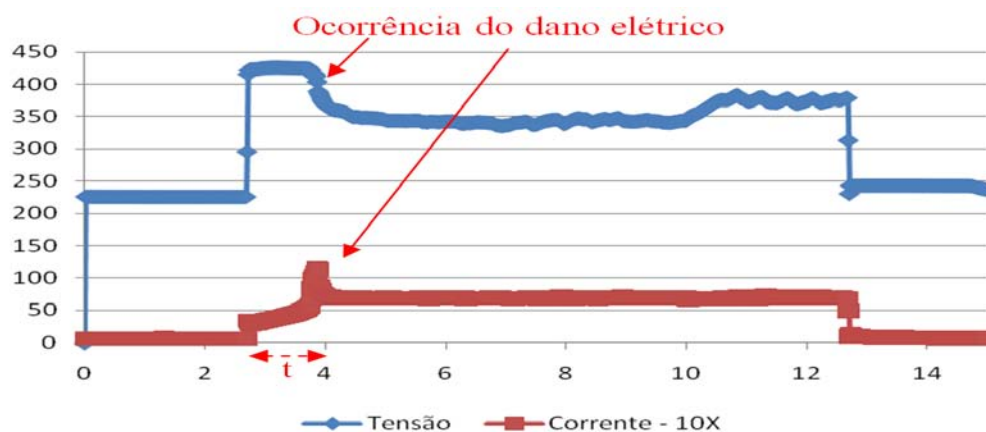


Figura 4.7 – Elevação de tensão aplicada a um eletroeletrônico.

Pela análise dos resultados obtidos para tensão e corrente, é possível obter o tempo de exposição do equipamento à elevação da tensão até o instante da ocorrência do dano elétrico.

Também, pode-se verificar o máximo valor da tensão (v) durante este intervalo de tempo.

Assim, os valores de v e t são empregados na metodologia desenvolvida para a elaboração da curva de suportabilidade dielétrica do equipamento.

Este procedimento foi aplicado aos resultados dos ensaios destrutivos vinculados com as sobretensões à frequência industrial, realizados na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, apresentados no capítulo 3, para conhecimento dos limites dielétricos dos televisores na região 2 da curva de suportabilidade.

Esses resultados são sintetizados na tabela 4.2.

*Tabela 4.2 – Síntese dos resultados laboratoriais realizados na UFU*

| <b>Televisor</b>  | <b>Tensão (V)</b> | <b>Tensão (PU)</b> | <b>Duração t(s)</b> |
|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Philco 14 “ usado | 418               | 1,9                | 1,0                 |
| Philco 20” usado  | 440               | 2,0                | 0,78                |
| Philips usada 20” | 420               | 1,9                | 0,27                |
| Philips nova 21”  | 420               | 1,9                | 0,28                |
| Toshiba 29” usado | 440               | 2,0                | 0,50                |
| Philco 20” usado  | 600               | 2,7                | 0,100               |
| Philips 29” nova  | 600               | 2,7                | 0,23                |

O mesmo procedimento descrito anteriormente, também foi aplicado aos resultados dos ensaios de transitórios impulsivos, realizados no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá, objetivando obter os níveis de

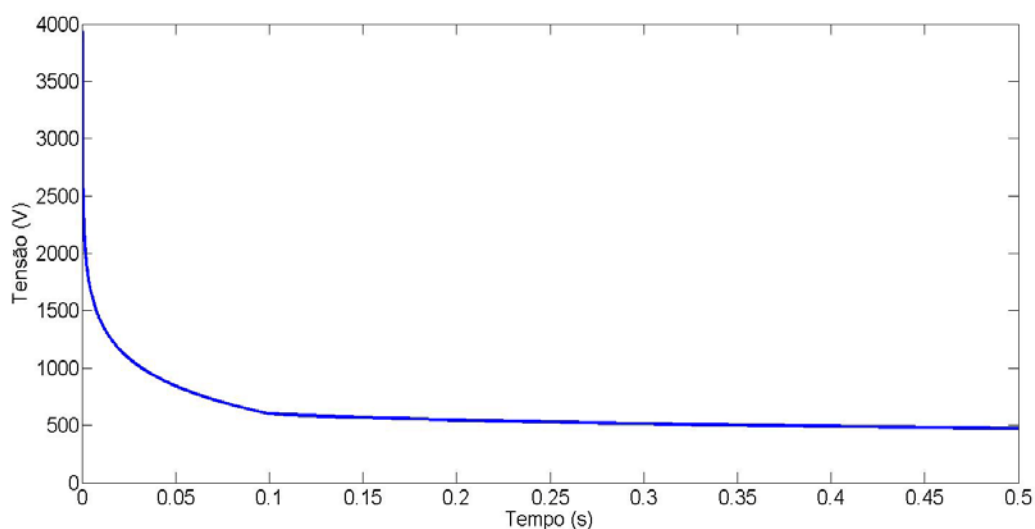
suportabilidade para os equipamentos sob distúrbios elétricos associados com as descargas atmosféricas, região 1 da curva de suportabilidade dielétrica.

Os valores de tensão (V) e tempo ( $\mu$ s) obtidos e descritos no capítulo 3 estão sintetizados na tabela 4.3.

*Tabela 4.3 – Síntese dos resultados laboratoriais de transitórios impulsivos – UNIFEI*

| <b>Televisor</b>   | <b>Tensão (V)</b> | <b>Duração t(<math>\mu</math>s)</b> |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Philips 29" novo   | 5287              | 11,1                                |
| Panasonic 29" novo | 4665              | 11,38                               |
| Philips 21" novo   | 3980              | 7,25                                |
| Philips 29" usado  | 2800              | 12,00                               |
| LG 20" usado       | 3862              | 6,76                                |

Baseado nos dados apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3, a figura 4.8 mostra, como exemplo, a curva de suportabilidade dielétrica do televisor Philips usado de 29".



*Figura 4.8 – Curva de suportabilidade dielétrica do televisor Philips novo 29"*

### 4.3.1 – Utilização das Curvas de Suportabilidade Dielétrica no Aplicativo APR

Além da inclusão das curvas de suportabilidade dielétrica sugeridas por algumas referências bibliográficas, apresentadas no capítulo 3, as curvas obtidas nesse trabalho foram também diretamente inseridas no aplicativo APR 3.0. Da mesma forma que as curvas térmicas, há também uma outra forma de se obter as curvas apresentadas. A título de ilustração, a figura 4.9 indica os pontos relativos à tensão e tempo, que devem ser inseridos no aplicativo, para que o mesmo obtenha a curva dielétrica do eletroeletrônico.

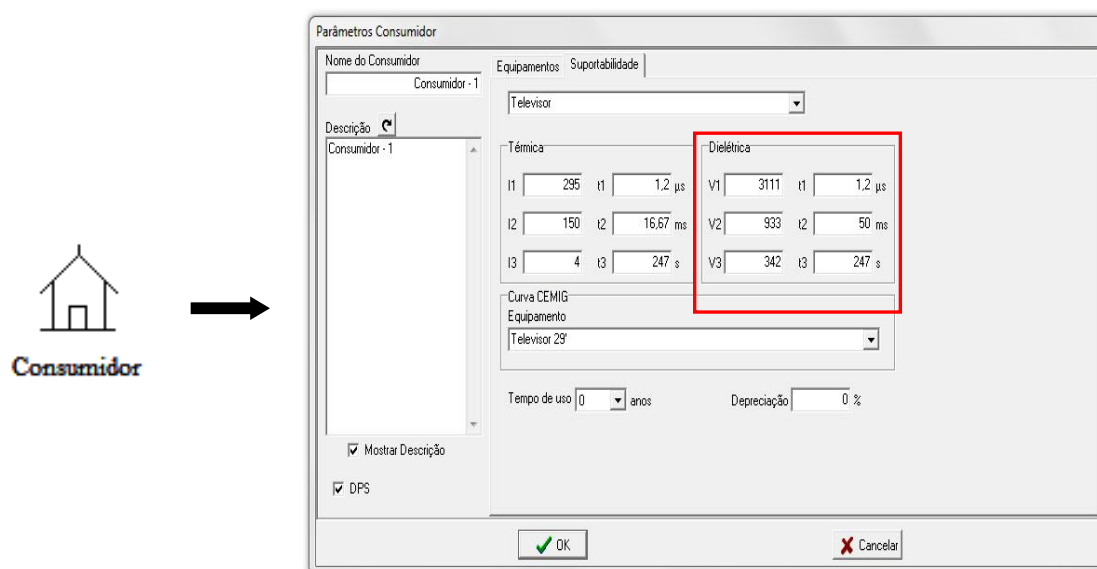


Figura 4.9 – Inserção da curva de suportabilidade dielétrica no APR 3.0-CEMIG

## 4.4 - Analisador de Pedidos de Ressarcimento APR- 3.0 CEMIG

O APR é um aplicativo computacional dedicado a subsidiar a análise técnica dos pedidos de ressarcimento de danos elétricos a consumidores, desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia [7, 8, 9 ,10] em parceria com concessionárias de energia elétrica em projetos de P&D's.



O aplicativo em pauta foi desenvolvido com o objetivo de disponibilizar uma interface orientativa e amigável, de maneira a facilitar o seu manuseio, utilizando como infra-estrutura a consagrada plataforma ATP (Alternative Transients Program) [7,8,9,10].

As atividades realizadas nessa dissertação possibilitaram o levantamento e a construção de curvas de suportabilidade térmica e dielétrica para os aparelhos de televisão que foram implementadas no APR [11, 12 e 13].

A implementação dessas curvas no APR decorre da digitação dos valores obtidos nos respectivos campos da tela de parâmetros / consumidor / suportabilidade. Com um simples clique sobre o consumidor, essa tela para a configuração de parâmetros é aberta, possibilitando o preenchimento das correntes relativas à suportabilidade térmica e das tensões relativas à suportabilidade dielétrica. Dessa forma, realiza-se a entrada das curvas específicas de uma marca e modelo de televisão.

Dada a grande diversidade de marcas e modelos e a evolução crescente do mercado de eletroeletrônicos, curvas de suportabilidade térmica e dielétrica com os valores mínimos também foram construídas e inseridas internamente no APR 3.0 CEMIG, de forma que pudessem subsidiar a análise de pedido de ressarcimento de qualquer televisor.

As curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica da Cemig D implementadas no APR 3.0, correspondem aos valores mínimos obtidos num determinado ensaio para as diversas marcas e modelos por tamanho da tela em polegadas. Exemplificando, as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica do televisor 20” implementadas no APR, são resultados dos menores valores obtidos nos diversos ensaios laboratoriais para os televisores de 20 e 21”. Entretanto, uma exceção foi feita para a curva de suportabilidade dielétrica dos televisores de 29”, pois o resultado da TV Philips de 29” usada (2800 V)

apresentou para a região 1, um resultado discrepante em relação aos demais e, por isso, foi descartado.

A utilização de valores mínimos como limites de suportabilidade tanto térmica quanto dielétrica impõe maior severidade à análise e proteção ao consumidor reclamante. Embora a facilidade de simulação e análise dos pedidos de ressarcimento promovida pelo APR-3.0 CEMIG, ressalta-se que o mesmo tem como necessidade inserir, manualmente, o posicionamento físico do consumidor e o complexo sistema elétrico de distribuição.

Apesar dos resultados positivos até então obtidos, reconhece-se que a utilização de um mecanismo que automatizasse tal procedimento seria de grande relevância para a agilidade e qualidade dos estudos. Neste particular, a alternativa utilizada foi o desenvolvimento no P&D 238, de um software que faz a interface entre o banco de dados georeferenciado da CEMIG D e o APR 3.0 CEMIG. O banco de dados da CEMIG possui cada consumidor devidamente cadastrado na rede de distribuição com os seus respectivos alimentadores.

O referido software acessa o banco de dados da concessionária, prepara e entrega uma máscara em formato TXT, alimentando o APR 3.0. Uma representação gráfica de todo o sistema elétrico é montada no APR para que a análise do pedido de ressarcimento seja mais amigável.

Após a montagem e a edição da rede elétrica e dos equipamentos a serem investigados no pedido de ressarcimento, o próximo passo consiste numa varredura do complexo elétrico sob análise e, na seqüência, a aplicação do distúrbio considerado.

Através de um banco de dados que compreende as rotinas de configuração de cada componente que perfaz o sistema, o arquivo necessário à execução do ATP é formatado, simulado em segundo plano e executado sem nenhum comando adicional do usuário.

Ao término de sua execução, o ATP gera um arquivo de resultados com as formas de onda das tensões e correntes em qualquer ponto do sistema analisado. Estas informações são importadas pelo APR 3.0 que efetua os devidos tratamentos para fins da análise dos resultados através do módulo de cálculo dos indicadores de desempenho.

Com os resultados obtidos pela simulação no ATP, o módulo de cálculo dos indicadores do APR utiliza as características e os níveis das tensões e correntes para o cálculo das solicitações dielétricas e térmicas que estão submetidos os equipamentos simulados. Estas informações são devidamente tratadas e convertidas em indicadores para fins de correlação com os limites de suportabilidade dos equipamentos. Novamente, esta etapa é independente da intervenção do usuário.

Após a realização destes tratamentos, finalmente, são disponibilizados ao usuário, pela interface gráfica do APR, as curvas comparativas resultantes deste processo, para fins de subsidiar a emissão de um parecer final sobre a consistência dos pedidos de ressarcimento.

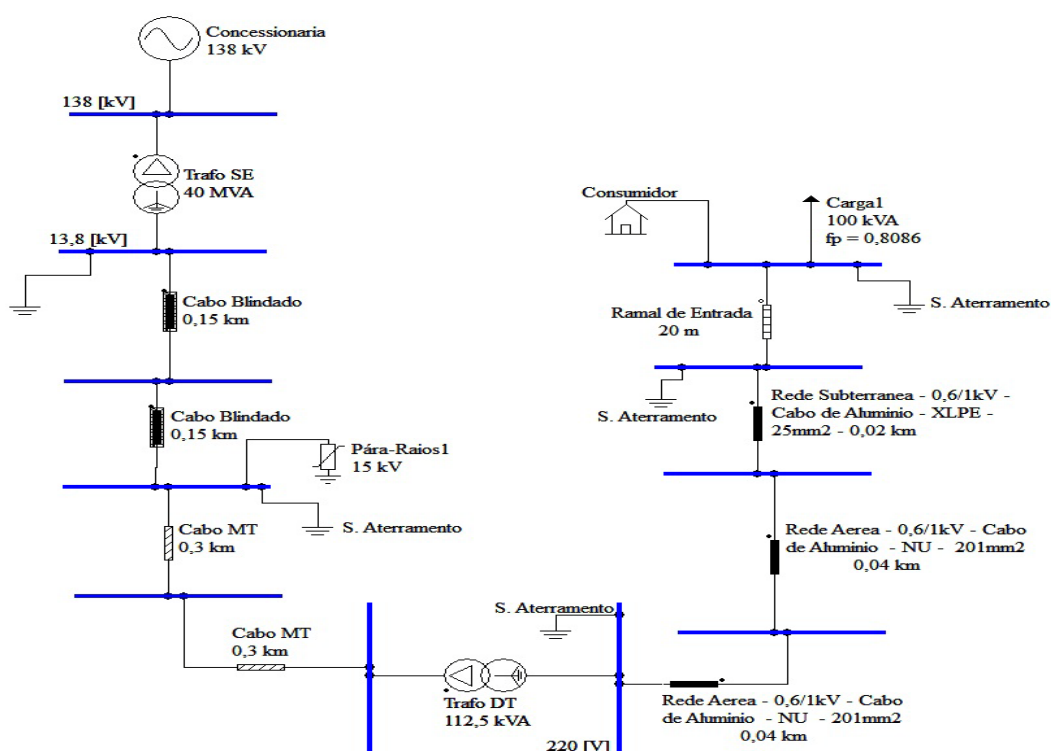
#### **4.5 - Estudo de casos de pedidos de ressarcimentos de danos a televisores da Cemig Distribuição S.A.**

Conforme mencionado anteriormente, apesar dos resultados positivos até então obtidos com a aplicação do APR integrado ao ATP, a grande dificuldade, do ponto de vista de se operacionalizar um instrumento de uso prático e dinâmico, era a montagem do sistema elétrico da concessionária com todas as suas informações, características e com grande diversidade de condutores, cargas, consumidores, equipamentos, aterramentos e alterações dinâmicas do mesmo.

A montagem do alimentador em estudo precisava ser toda modelada em barras e impedâncias equivalentes e com suas respectivas concentrações de

cargas. Esse trabalho manual, além de árduo, incorria-se no risco de cadastramento de informações incorretas. Apenas para exemplificar, foram gastas aproximadamente 24 hs de trabalho para a montagem do alimentador ULAS613 da Cemig Distribuição para elaboração de um estudo de caso.

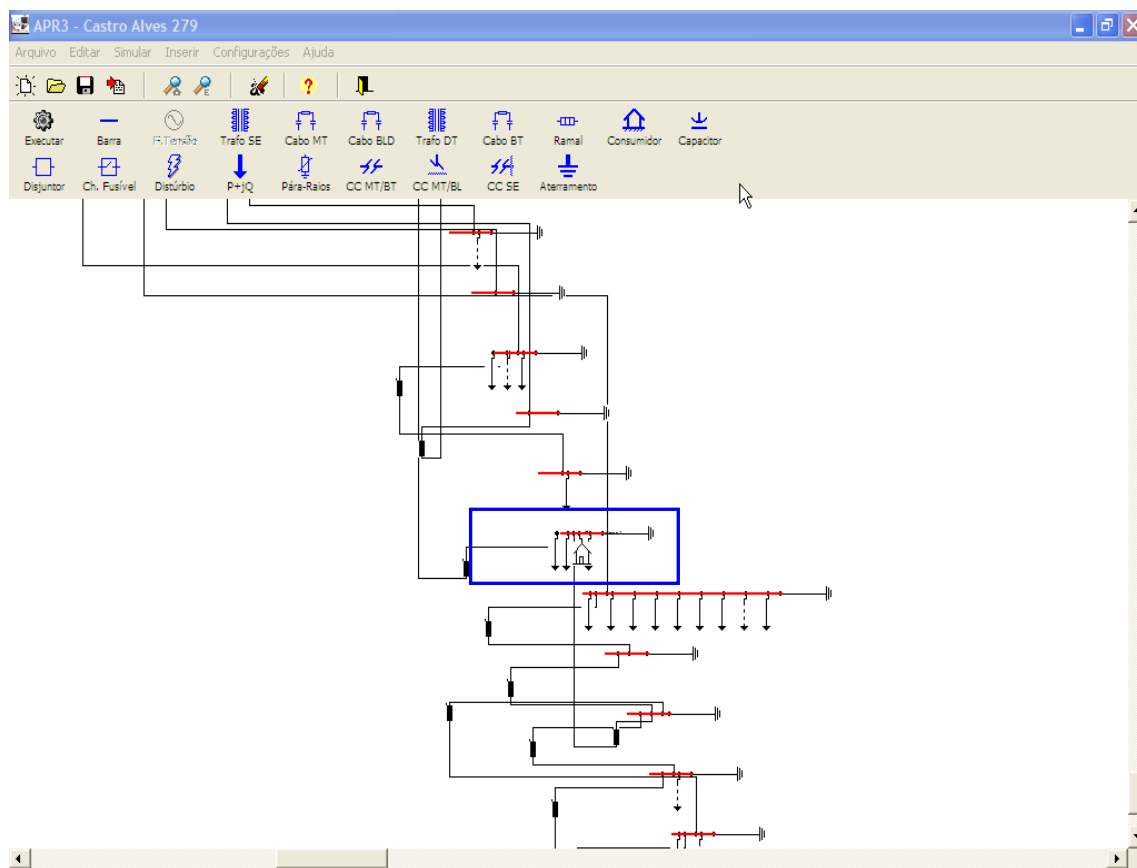
A figura 4.10 ilustra o diagrama unifilar que contempla o alimentador supramencionado.



*Figura 4.10 – Exemplo de modelagem de alimentador feita manualmente no APR*

Para facilitar esse trabalho, a Cemig D desenvolveu em conjunto com a Universidade Federal de Uberlândia, um software que faz a interface entre o banco de dados georeferenciados da concessionária e o APR. Dessa forma, a utilização desse software é outra contribuição dessa dissertação, reduzindo a minutos o trabalho de modelagem do alimentador sob análise.

A figura 4.11 ilustra graficamente um exemplo da modelagem de um alimentador realizada através da interface do banco de dados da CEMIG e o APR.



*Figura 4.11 – Exemplo da modelagem de um alimentador realizada através da interface do banco de dados da Cemig D e o APR*

### 4.5.1 – Análise de um caso real de pedido de ressarcimento de um Televisor Philips de 21”

#### 4.5.1.1 – Informações Gerais

O estudo de casos reais é de suma importância para avaliação dos resultados obtidos nesse trabalho.

Para tanto, esse caso corresponde a um pedido de ressarcimento por danos causados a um aparelho televisor Philips 21”, com 1 ano de uso, associado a uma descarga atmosférica, que supostamente teria indício de incidência próximo à unidade consumidora reclamante.

Trata-se de um caso real, ocorrido na cidade de Uberlândia, alimentador ULAS606, cliente residencial com número de instalação 3001740508 da Cemig Distribuição S.A.

Utilizando-se do aplicativo APR 3.0 – CEMIG e a interface de interação com o banco de dados da concessionária, referida anteriormente, o trabalho consiste basicamente nas seguintes etapas, a saber:

- Identificação do cliente reclamante, seu respectivo transformador, e circuito de baixa tensão até o ponto de entrega;
- Identificação do alimentador e sua respectiva rede de média tensão incluindo cabos, aterramentos, equipamentos de regulação e proteção da subestação até o transformador de baixa tensão que atende o cliente;
- Seleção do equipamento danificado no sistema APR;
- Configuração da descarga atmosférica no APR, distúrbio que provocou o dano ao equipamento e que se propagou pela rede da concessionária;
- Análise gráfica comparativa entre as solicitações térmicas e dielétricas impostas ao equipamento pelo distúrbio e sua suportabilidade física, com base nas curvas ITIC e as curvas desenvolvidas por esse trabalho científico;
- Simulação do mesmo distúrbio utilizando o dispositivo de supressão de surto DPS, para os casos em que houve violação dos limite físicos do televisor e avaliação dos resultados.

#### **4.5.1.2 – Identificação do cliente reclamante e circuitos de média e baixa tensão**

Utilizando-se da interface de interação com o banco de dados da CEMIG D digita-se no APR o número de instalação do cliente reclamante para a sua seleção. Uma vez identificado o cliente, a interface da CEMIG D carrega para o APR todo o sistema elétrico envolvido na reclamação, incluindo todos os

parâmetros de média e baixa tensão com os seus respectivos clientes, tal qual está configurado na base de dados da concessionária.

A figura 4.12 mostra o processo de identificação do cliente, enquanto que a figura 4.13 mostra o diagrama unifilar simplificado da rede de distribuição da concessionária, alimentador ULAS606 da cidade de Uberlândia.

**Importar**

**Dados do Gemini**

Identificador do cliente  
3001740508

Importar arquivo .dat

**Estatísticas**

|                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Número de barras: 403     | Número de transformadores: 1 |
| Número de cabos MT: 308   | Número de chaves: 69         |
| Número de cabos BT: 17    | Número de religadores: 1     |
| Número de cargas: 206     | Número de TS: 14             |
| Número de pára-raios: 123 | Número de aterramentos: 17   |

**Endereço do Cliente**

R EDUARDO MARQUEZ 1075 CS

Selecionar cliente

Figura 4.12 - Seleção do cliente reclamante no aplicativo APR 3.0 CEMIG

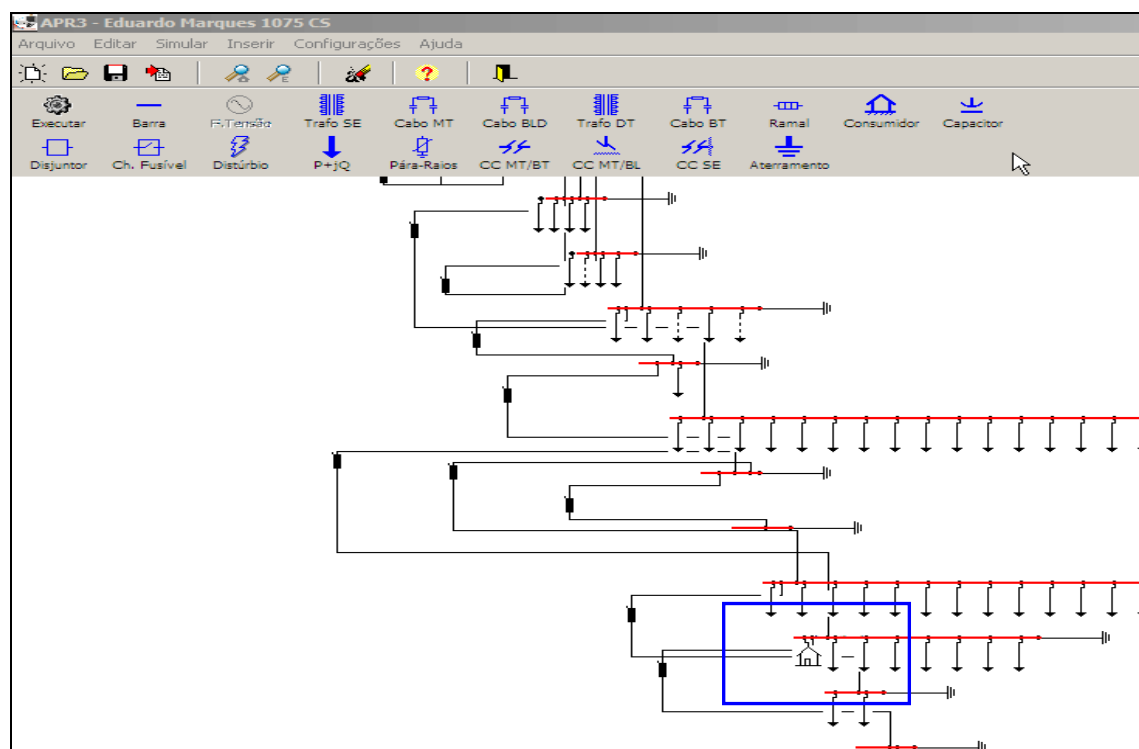


Figura 4.13 – Diagrama unifilar simplificado representado no aplicativo APR.

Como o alimentador é extenso e com muitas ramificações radiais, a sua plotagem no APR também é extensa e, para facilitar o trabalho, o cliente é mostrado no centro da tela, conforme destacado no retângulo azul da figura 4.1.3.

### 4.5.1.3 – Seleção do equipamento danificado no sistema APR

A Figura 4.14 ilustra o processo de seleção do equipamento envolvido no pedido de indenização, a televisão. Para tanto, seguindo as orientações detalhadas para o APR, realiza-se um duplo clique sobre o ícone representativo do consumidor, casa no centro da tela, quando então aparece na tela, opções de quais produtos devem ser avaliados.

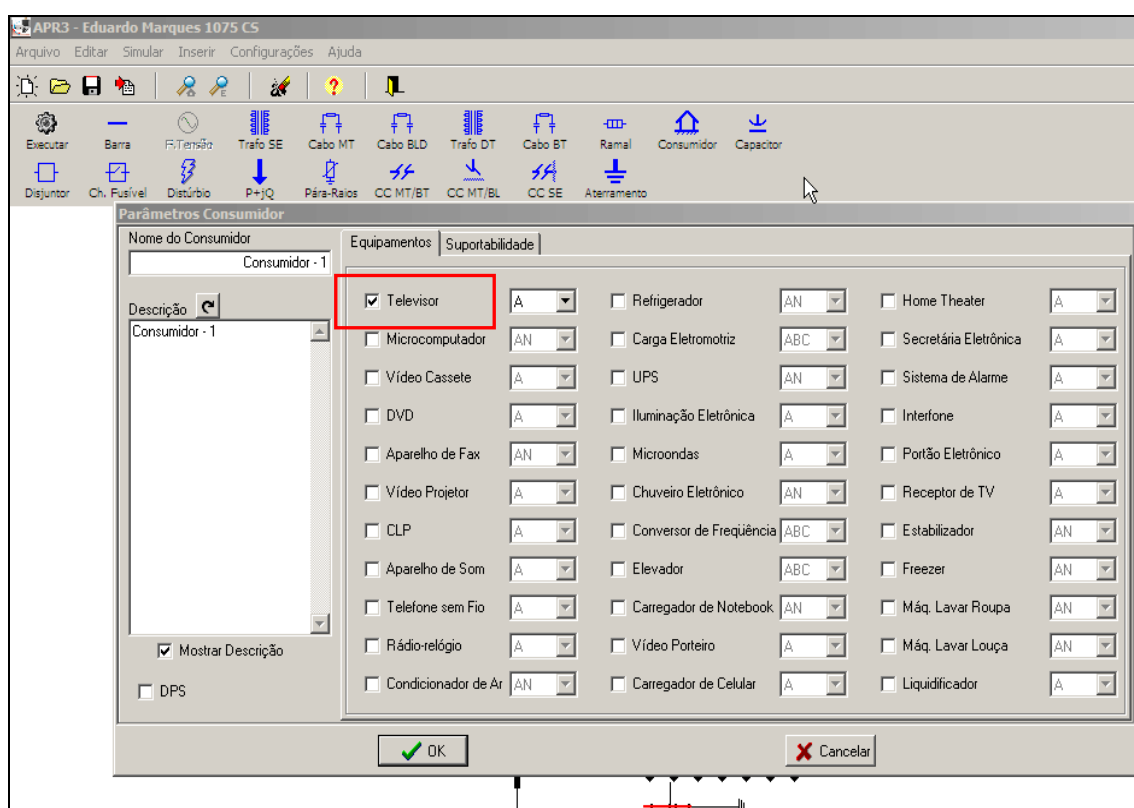


Figura 4.14 – Seleção do equipamento a ser analisado na instalação reclamante.

Uma vez definidos a rede e o equipamento objeto da investigação, o próximo passo compreende a definição das curvas de suportabilidade dielétrica e



térmica que expressam os níveis máximos das solicitações de tensão e corrente que o equipamento suportaria, sem que houvesse a possibilidade de danos físicos em sua estrutura construtiva e operacional.

Para efeito de comparação, a análise desse pedido de ressarcimento será feita, utilizando-se as curvas de suportabilidade dielétrica do ITIC e as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores 20 e 21”, objeto de investigação dessa dissertação.

#### **4.5.1.4 – Configuração da descarga atmosférica no APR**

Uma vez definida a curva de suportabilidade, seleciona-se no APR o distúrbio elétrico, ou seja, a descarga atmosférica.

A seleção desse distúrbio é feita através de duplo clique no ícone “Distúrbios”.

Como não se tem informações precisas da ocorrência, adotou-se a forma de onda da descarga atmosférica no seu padrão típico, que é representada por impulso de corrente com um tempo de subida de 8  $\mu$ s e o tempo de descida de 20 $\mu$ s para atingir 50% do valor de pico.

O valor de pico do impulso de corrente corresponde à 30 ka, que é a média dos valores de descargas atmosféricas medidos em 2010 pelas estações meteorológicas da Cemig S.A e foi aplicado em uma das barras de 13,8kV, média tensão, a 81 m do transformador que atende o cliente.

#### **4.5.1.5 - Configuração da descarga atmosférica na média tensão (MT) próxima ao cliente**

Para essa situação, será aplicada uma onda de corrente com um valor de pico de 30 ka na média tensão, a 81 m do transformador que atende o cliente.

As figuras 4.15a e 4.15b ilustram essa questão.

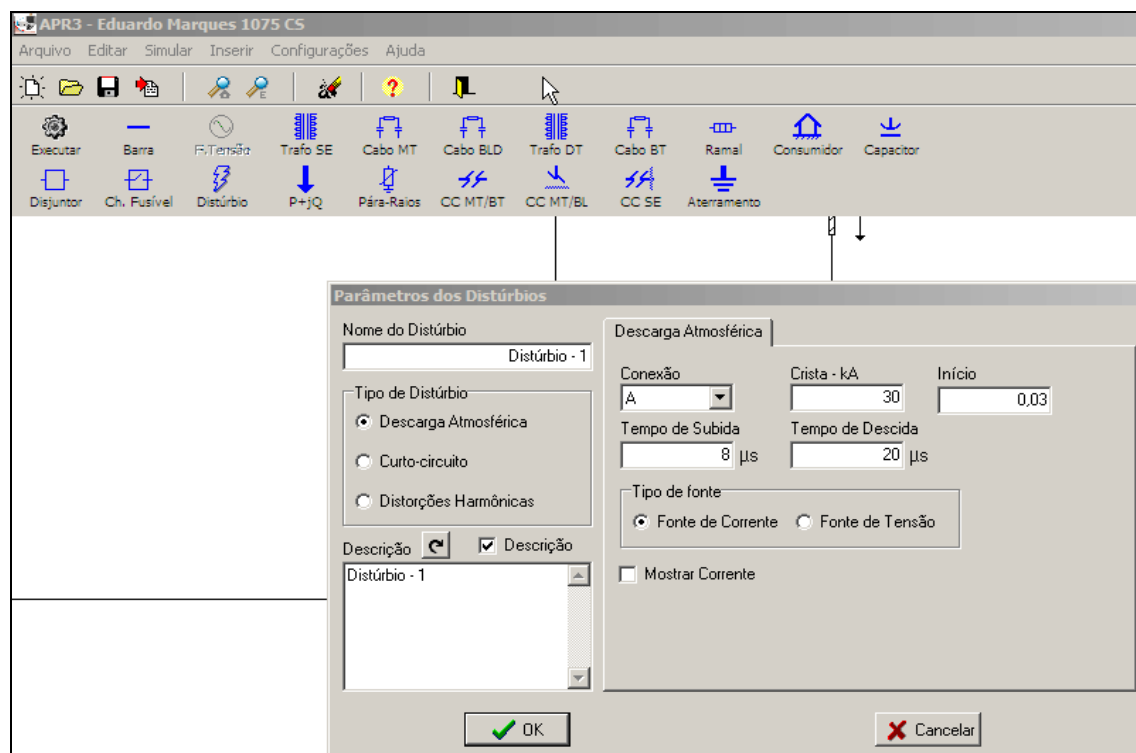


Figura 4.15a - Configuração da descarga atmosférica na média tensão

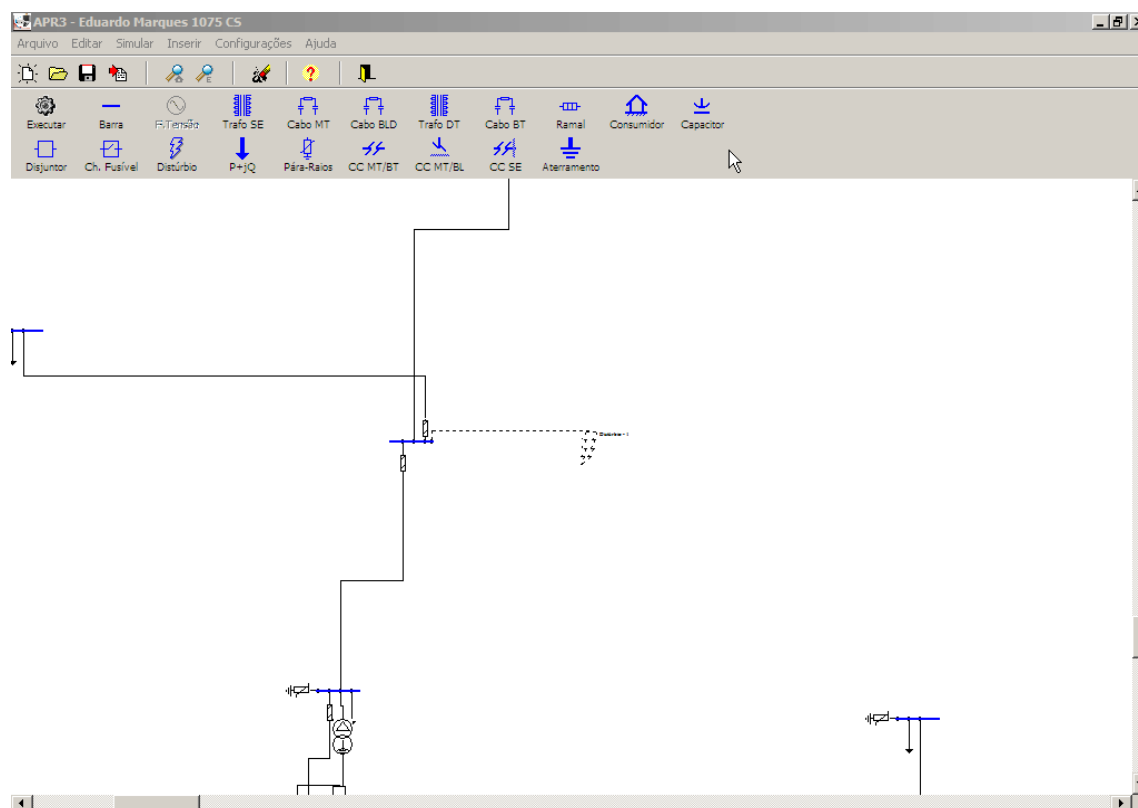


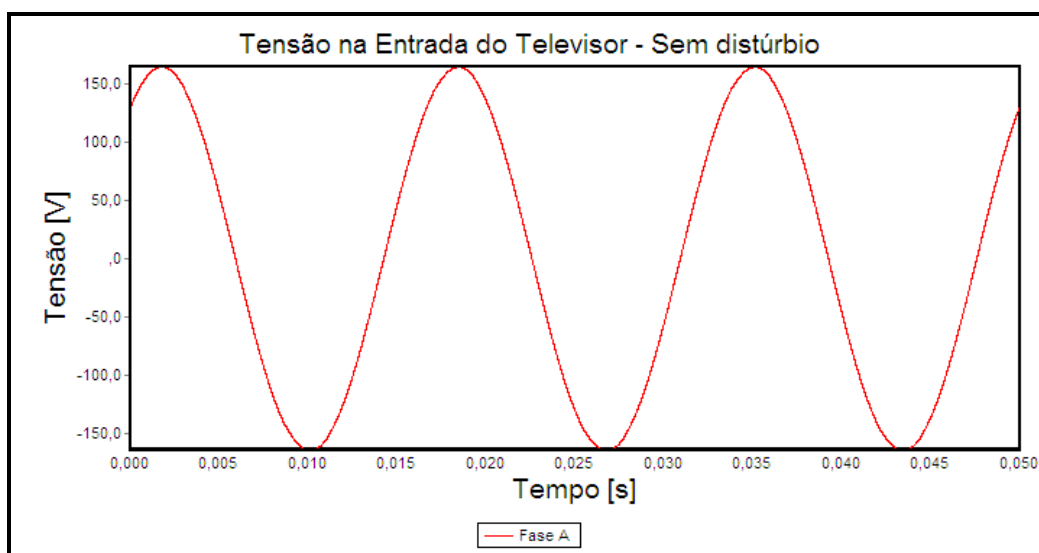
Figura 4.15b - Ponto de aplicação da descarga atmosférica na média tensão próxima ao transformador

#### **4.5.1.6 - Análise gráfica comparativa dos resultados**

Uma vez que o caso sob investigação encontra-se configurado e parametrizado, o passo subsequente consiste no processamento do APR de forma a obter as seguintes informações:

- Tensão em qualquer ponto do sistema elétrico e, de modo especial, nos terminais do equipamento sob avaliação;
- Corrente em qualquer ponto do sistema e, de modo particular, na entrada do equipamento sob análise;
- Curvas de solicitação dielétrica e térmica obtidas a partir da tensão e corrente na entrada do dispositivo eletroeletrônico focado no pedido de ressarcimento e confrontadas com os limites de suportabilidade da TV.

As Figuras 4.16 (a), (b), (c) e (d) mostram as formas de onda da tensão e da corrente observadas no ponto de conexão do televisor com a rede de distribuição de energia antes e durante a ocorrência da descarga atmosférica.



*Figura 4.16 a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor antes da descarga atmosférica*

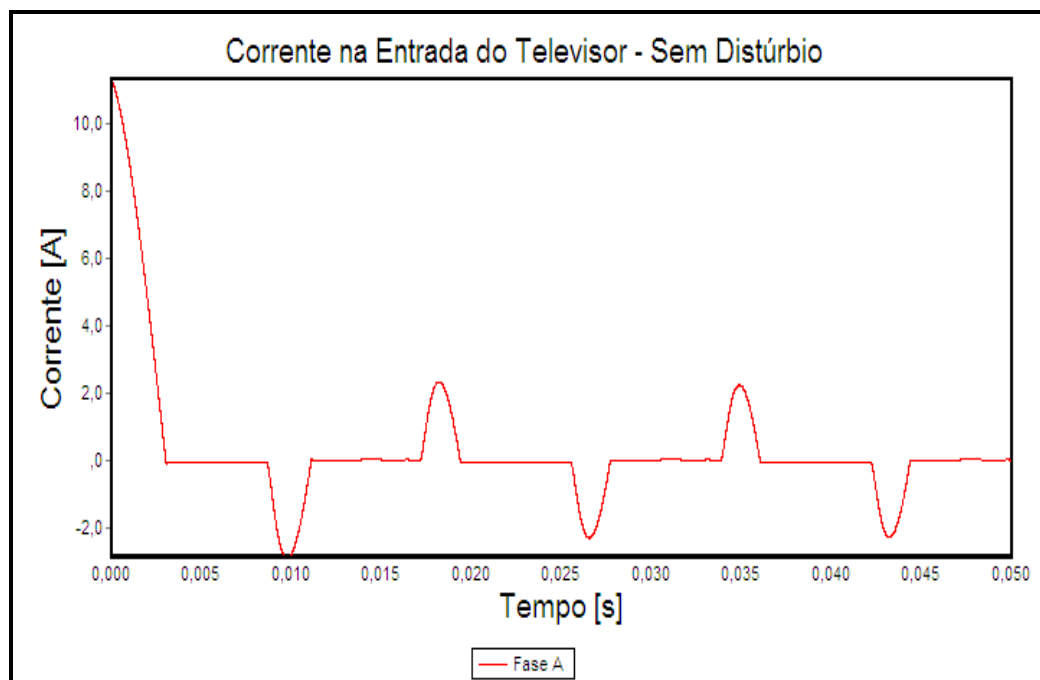


Figura 4.16 b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor antes da descarga atmosférica.

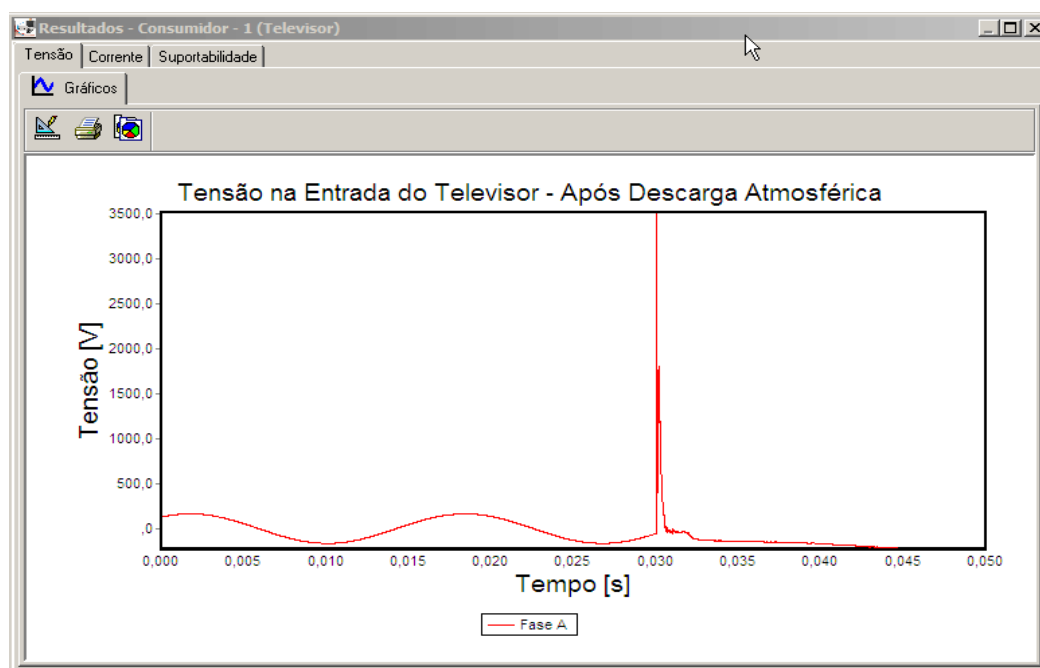
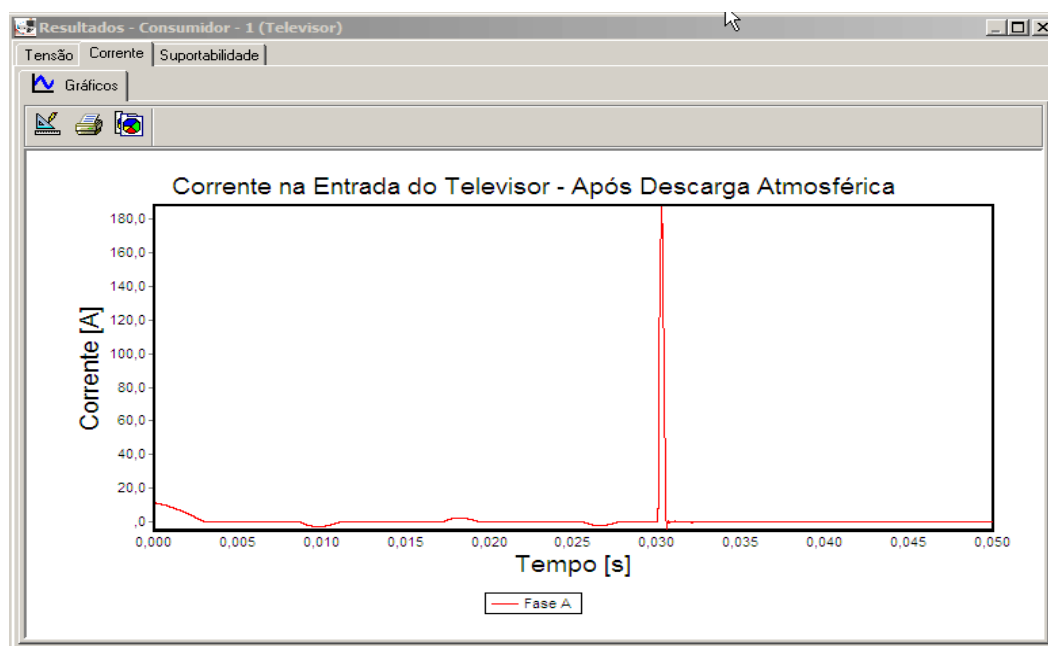


Figura 4.16 c- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica



*Figura 4.16 d- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a aescarga atmosférica*

### **A1 – Análise do pedido de ressarcimento, utilizando-se a curva de suportabilidade dielétrica ITIC**

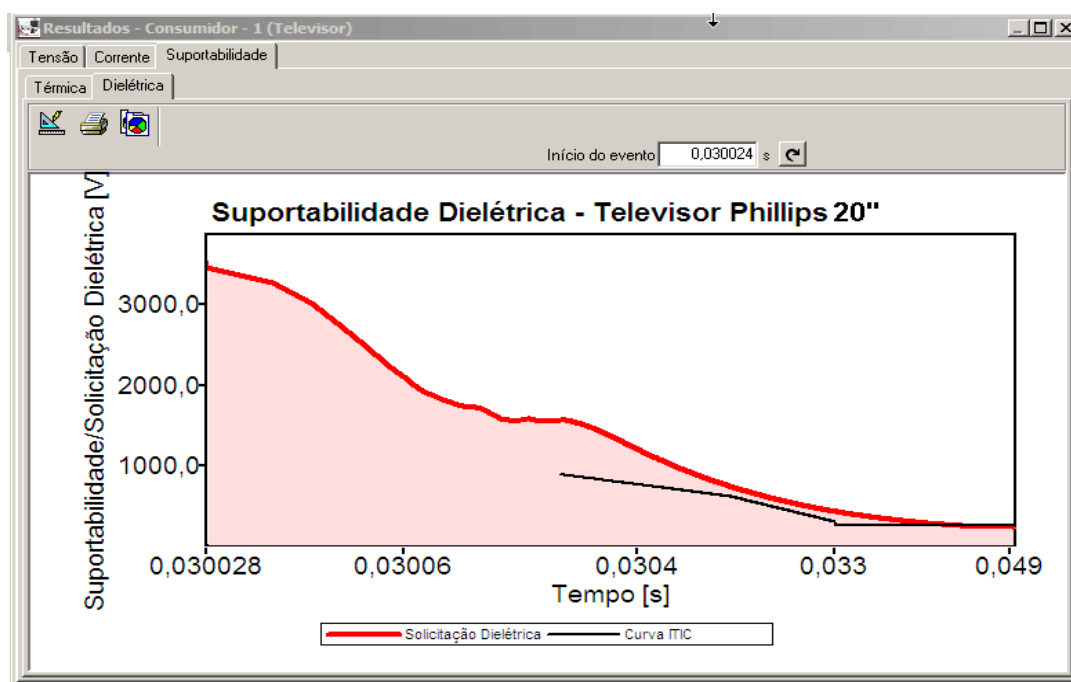
Para fins de análise comparativa, nesse caso será utilizada a conhecida curva de suportabilidade ITIC para o televisor sob investigação.

A maioria das publicações relacionadas ao tema utiliza como referência a curva ITIC, que estabelece uma região limítrofe dos níveis mínimos e máximos de tolerância física e operacional para os produtos.

Esta referência contempla tanto condições transitórias quanto de regime permanente, associadas à suportabilidade de equipamentos frente a surtos de tensão e sobretensões, e também, relacionadas à sensibilidade destes dispositivos aos afundamentos e interrupções de tensão.

Objetivando associar os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio com a curva de suportabilidade dielétrica ITIC, o APR produz o resultado final apresentado na Figura 4.17.

Uma vez que a solicitação é diretamente correlacionada com os níveis correspondentes de suportabilidade, o gráfico permite, visualmente, concluir sobre a possibilidade ou não da ocorrência de danos ao equipamento.



*Figura 4.17 - Análise comparativa da solicitação dielétrica diante dos níveis de suportabilidade do televisor, utilizando-se a curva ITIC*

Os resultados mostrados na figura 4.17 evidenciam que ocorre uma violação dos níveis de tensão admissível pelo televisor no tocante ao limite de suportabilidade dielétrica, delimitado pela curva ITIC.

Portanto, no que tange às questões dielétricas, fica evidenciada a possibilidade de danos físicos aos dispositivos internos do equipamento.

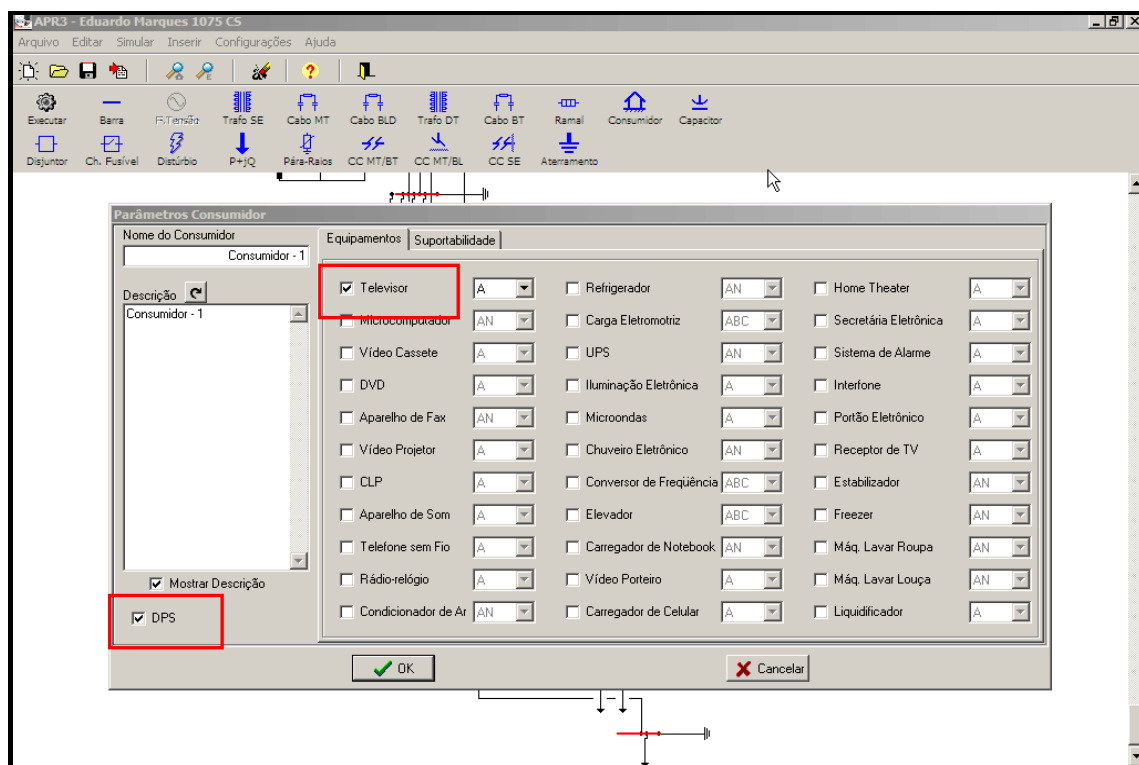
Conseqüentemente, de acordo com os resultados das investigações realizadas através do programa APR, o caso em questão estaria vinculado com uma solicitação procedente para o pedido de ressarcimento.

## **A2 – Análise do pedido de ressarcimento, utilizando-se a curva de suportabilidade dielétrica ITIC Com DPS**

Os resultados da análise anterior evidenciaram a possibilidade de danos físicos ao televisor, quando submetido a uma descarga atmosférica de 30 ka, utilizando a curva de suportabilidade ITIC. No entanto, para a avaliação da eficácia da utilização de dispositivos mitigadores, analisou-se o caso anterior com os mesmos parâmetros de configuração, porém, simulando-se a presença do DPS, dispositivo de proteção contra surto.

### **A2.1 – Seleção do equipamento danificado com a proteção do DPS no sistema APR**

A Figura 4.18 ilustra o processo de seleção do equipamento envolvido no pedido de indenização, a televisão, assim como a seleção do campo DPS no APR 3.0 Cemig.



*Figura 4.18 – Seleção do televisor a ser analisado no cliente com proteção de DPS.*

Como anteriormente já havia sido definida a rede, nessa etapa selecionam-se o equipamento sob investigação e o dispositivo de proteção contra surto, DPS.

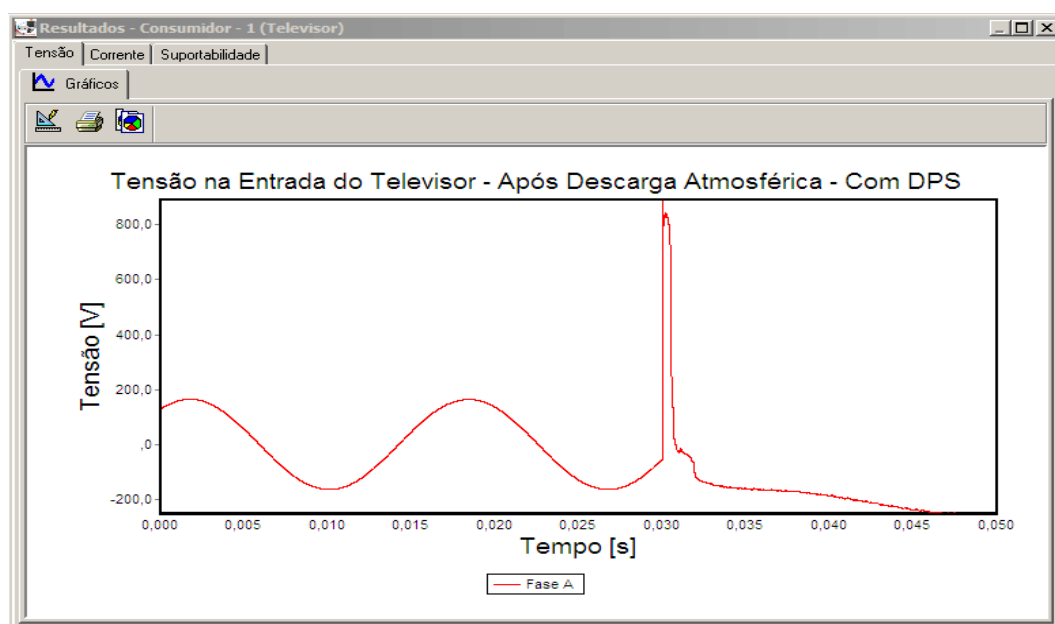
Os próximos passos são os mesmos da análise anterior e compreendem:

- Definição da curva de suportabilidade ITIC;
- Configuração da descarga atmosférica na média tensão (MT) próxima ao cliente no APR.

### **A2.2 - Análise gráfica comparativa dos resultados**

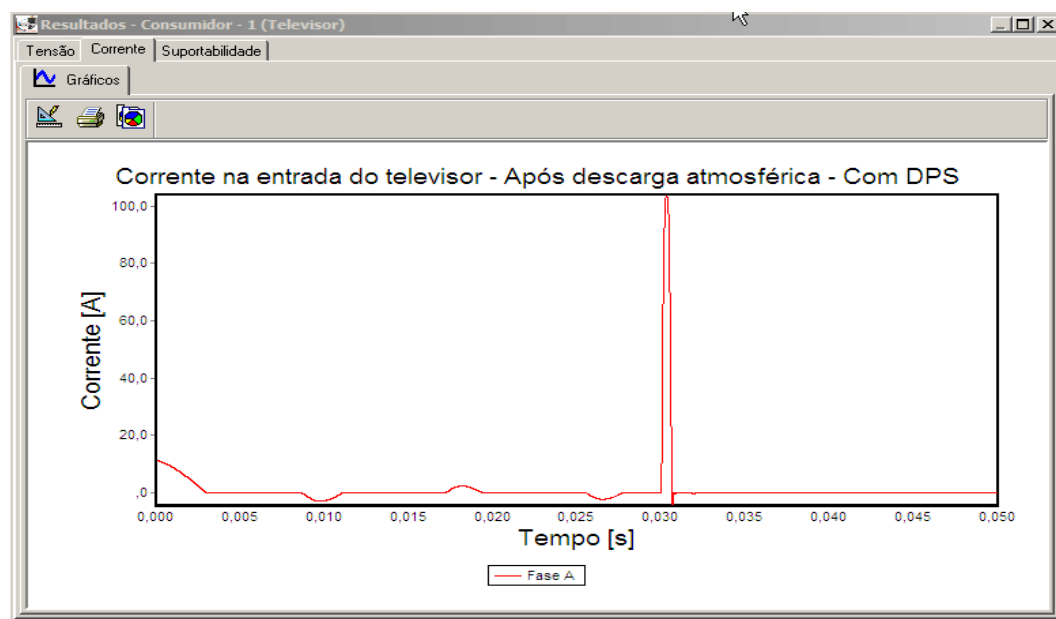
Uma vez que o caso sob investigação encontra-se configurado e parametrizado com a inclusão do DPS, o passo subsequente consiste no processamento do APR.

As Figuras 4.19a e 4.19b mostram as formas de onda da tensão e da corrente observadas na entrada do televisor protegido com DPS durante a ocorrência da descarga atmosférica que se propagou pela rede elétrica de distribuição da concessionária.



*Figura 4.19 a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – com DPS*





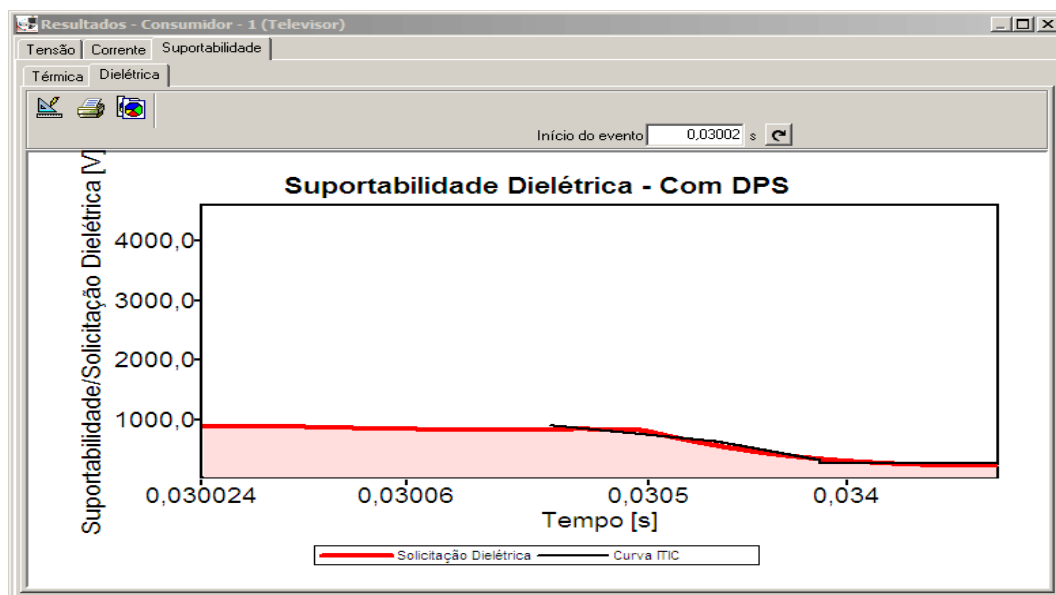
*Figura 4.19 b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – com DPS*

Comparando-se os resultados da tensão e corrente das Figuras 4.19a e 4.19b do televisor protegido com DPS com os resultados anteriores das figuras 4.16c e 4.16d, sem DPS, pode-se verificar que tanto a tensão quanto a corrente, observadas na entrada do equipamento após a descarga atmosférica, reduziram substancialmente, a saber:

- Tensão na entrada do equipamento sem DPS: 3.500 volts;
- Tensão na entrada do equipamento com DPS: 800 volts;
- Corrente na entrada do equipamento sem DPS: 180 amperes;
- Corrente na entrada do equipamento com DPS: 100 amperes.

### **A2.3 – Análise dos resultados utilizando-se a curva de suportabilidade dielétrica ITIC com DPS**

Para fins de análise comparativa, os resultados que expressam as solicitações impostas ao equipamento pelo distúrbio com a curva de suportabilidade dielétrica ITIC com DPS são mostrados na Figura 4.20.



*Figura 4.20 - Solicitação dielétrica no televisor diante dos níveis de suportabilidade utilizando-se a curva ITIC com DPS*

Uma vez que a solicitação é diretamente correlacionada com os níveis correspondentes de suportabilidade, o gráfico permite, visualmente, concluir sobre a possibilidade ou não da ocorrência de danos ao equipamento.

Dessa forma, no que tange às questões dielétricas, fica evidenciada na figura 4.20 uma possibilidade pequena de danos físicos ao equipamento, haja vista as curvas de solicitação dielétrica e ITIC estarem praticamente sobrepostas uma a outra, mostrando a atuação eficaz do DPS, mesmo quando comparado com a severa curva de suportabilidade ITIC para avaliação de televisores.

## **B – Análise do pedido de ressarcimento, utilizando-se curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores**

Para esta análise, serão utilizadas as curvas mínimas de suportabilidade dielétrica e térmica obtidas nessa dissertação para o televisor sob investigação.

As curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica obtidas e implementadas no APR 3.0 Cemig correspondem aos valores mínimos obtidos

num determinado ensaio para as diversas marcas e modelos por tamanho da tela em polegadas.

Para o caso em questão, será utilizada a curva do televisor 20” implementada no APR e não será selecionada a opção de DPS, haja vista se tratar da análise de caso real e o cliente não estava protegido com tal dispositivo.

A figura 4.21 ilustra a seleção da curva na tela do aplicativo.

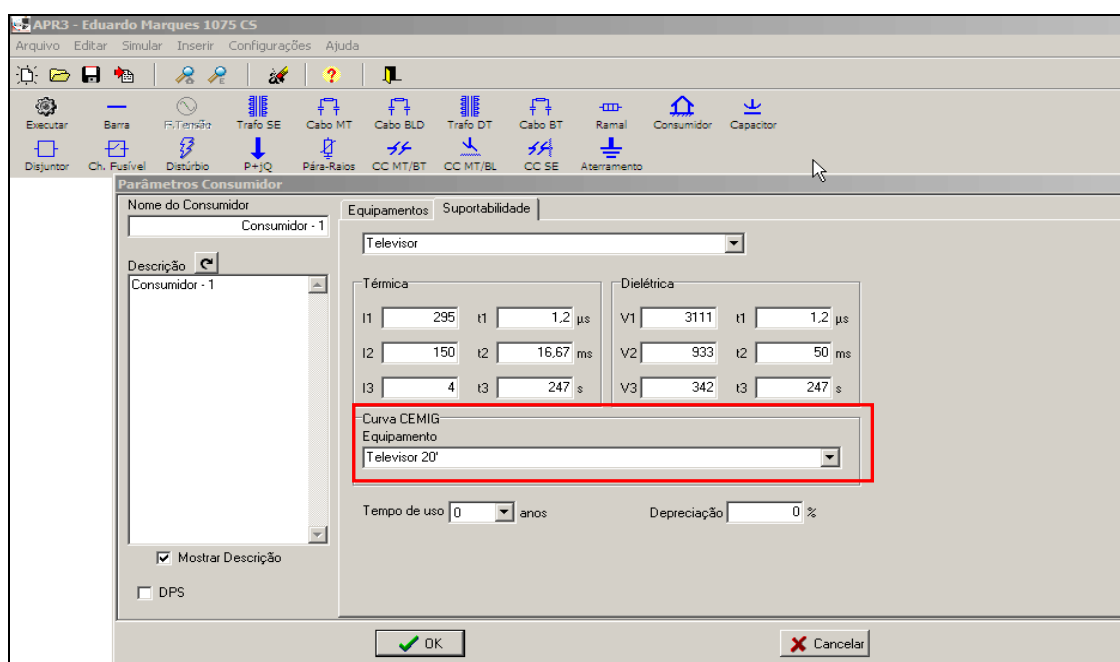


Figura 4.21 – Seleção das curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica.

Associando-se os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio às curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica, frutos dessa pesquisa, o APR produz o resultado final apresentado nas Figuras 4.22 e 4.23.

Uma vez que a solicitação é diretamente correlacionada com os níveis correspondentes de suportabilidade, o gráfico permite, visualmente, concluir sobre a possibilidade ou não da ocorrência de danos ao equipamento.

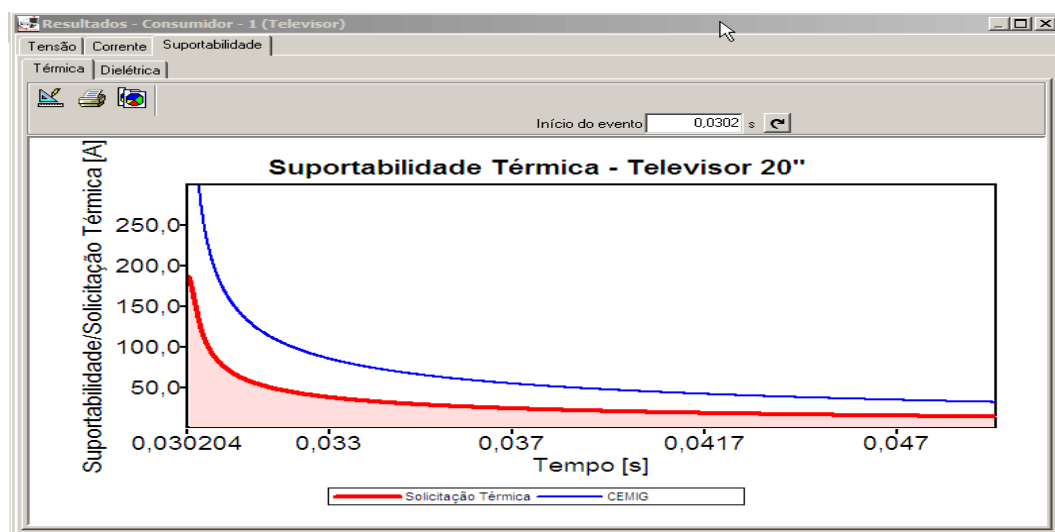


Figura 4.22 - Análise comparativa da solicitação térmica.

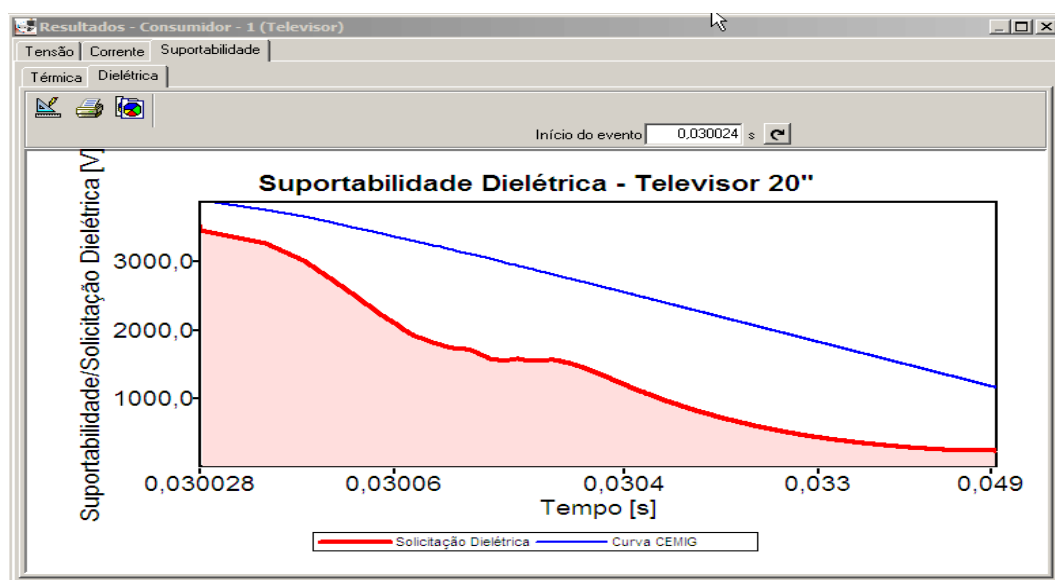


Figura 4.23 - Análise comparativa da solicitação dielétrica.

Os resultados mostrados nas figuras 4.22 e 4.23 evidenciam que não ocorreu nenhum tipo de violação ao televisor, tanto com relação ao limite de suportabilidade térmica, quanto ao limite de suportabilidade dielétrica, delimitados pela curva CEMIG. Portanto, fica evidenciada a impossibilidade de danos físicos ao equipamento.

Conseqüentemente, de acordo com os resultados das investigações realizadas através do programa APR, o caso em questão estaria vinculado com uma solicitação improcedente para o pedido de ressarcimento.

## **4.5.2 – Análise de um caso real de pedido de ressarcimento de um Televisor Philips de 29”**

A análise de casos reais para avaliação dos resultados dessa dissertação é de suma importância e, nesse sentido, mais uma solicitação de danos a uma televisão 29” será tratada com as curvas e metodologia obtidas nesse trabalho.

### **4.5.2.1 – Informações Gerais**

Esse caso corresponde a um pedido de ressarcimento por danos causados a um aparelho televisor Philips 29” associado a uma descarga atmosférica, que há indício que a sua incidência teria sido na baixa tensão que atende a unidade consumidora reclamante.

Essa solicitação a Cemig Distribuição ocorreu em Uberlândia, alimentador ULAS606, cliente residencial com número de instalação 3001198558.

Do mesmo modo que o estudo de caso anterior, o aplicativo APR 3.0 – CEMIG e a interface de interação com o banco de dados da concessionária serão utilizados para essa análise que compreende as mesmas etapas referidas anteriormente no item 4.5.1.1.

### **4.5.2.2 – Identificação do cliente reclamante e circuitos de média e baixa tensão**

Digitando-se o número de instalação 3001198558 na interface de interação com o banco de dados da CEMIG D, localiza-se o cliente reclamante e todo o sistema elétrico envolvido com todos os parâmetros de média e baixa tensão são carregados para o APR.

A figura 4.24 mostra o cliente reclamante e a figura 4.25, o diagrama unifilar simplificado do alimentador que atende ao referido cliente.

| Dados do Gemini          |            |
|--------------------------|------------|
| Identificador do cliente | 3001198558 |

Importar arquivo .dat

| Estatísticas              |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Número de barras: 403     | Número de transformadores: 1 |
| Número de cabos MT: 308   | Número de chaves: 69         |
| Número de cabos BT: 17    | Número de religadores: 1     |
| Número de cargas: 206     | Número de TS: 14             |
| Número de pára-raios: 123 | Número de aterramentos: 17   |

Endereço do Cliente

R ENGENHEIRO AZEL 237 CS

Selecionar cliente

Figura 4.24 - Seleção do cliente reclamante no aplicativo APR 3.0 CEMIG

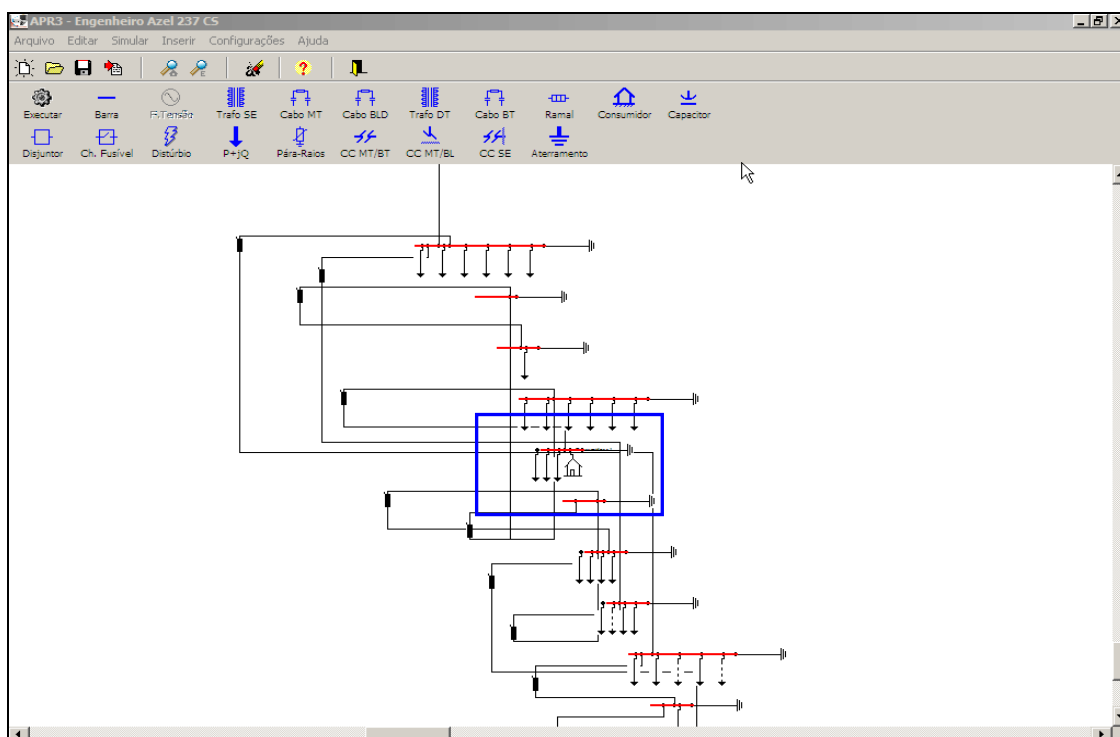


Figura 4.25 – Diagrama unifilar simplificado representado no aplicativo APR.

### 4.5.2.3 – Seleção do equipamento danificado no sistema APR

A Figura 4.26 ilustra a seleção do televisor de 29” no APR 3.0, envolvido no pedido de indenização.

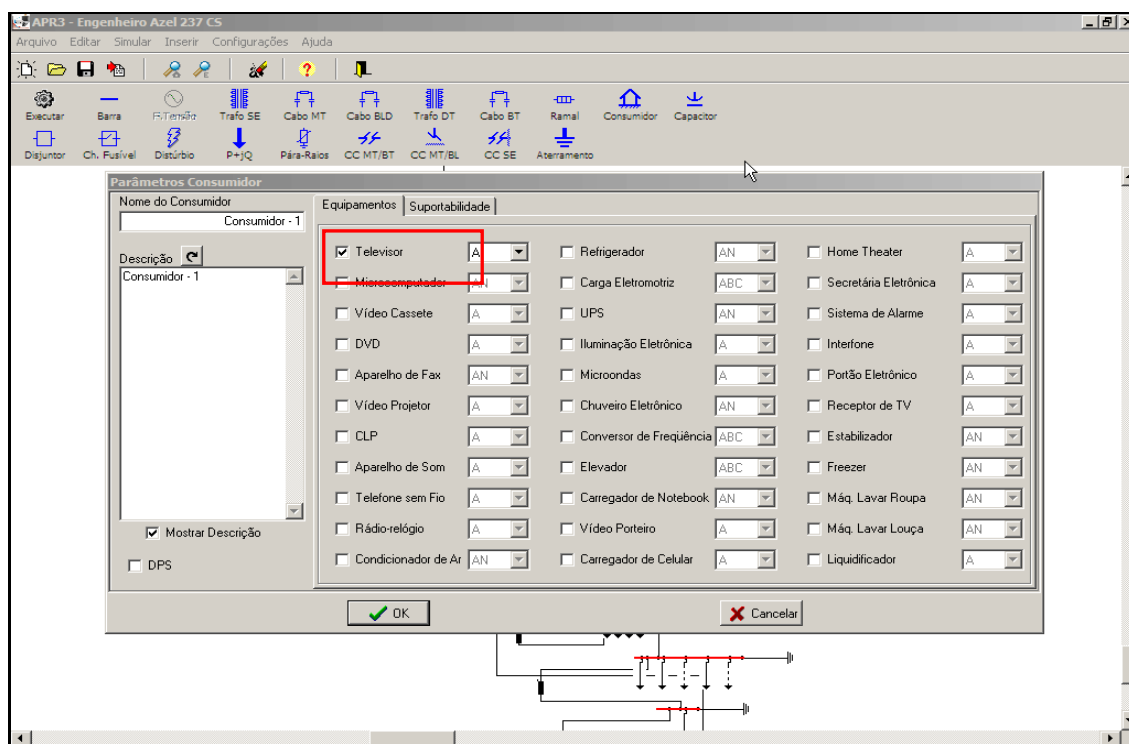


Figura 4.26 – Seleção da TV 29” a ser analisada na instalação reclamante.

Uma vez definidos a rede e o equipamento objeto da investigação, o próximo passo compreende na definição das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica que serão utilizadas no sistema APR.

Para análise desse caso serão utilizadas as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores 29” que, por meio dessa dissertação, foram inseridas no APR 3.0 Cemig.

### 4.5.2.4 – Configuração da descarga atmosférica no APR

Nessa etapa, configura-se no APR a descarga atmosférica que supostamente atingiu a instalação do cliente e causou o suposto dano reclamado pelo cliente ao televisor.

A forma de onda da descarga atmosférica adotada para essa análise é a mesma adotada anteriormente no seu padrão típico, que é representada por um impulso de corrente de 8 por 20 $\mu$ s.

No caso em questão, o cliente reclamou a queima do seu equipamento, alegando a queda de um raio na rede de baixa tensão. Para efeito dessa análise, será aplicada uma onda de corrente com um valor de pico de 2 ka no circuito de baixa tensão que atende o cliente reclamante.

Esse valor de pico do impulso de corrente corresponde aos valores medianos da corrente de surto entre 1,2 a 5 ka que finalmente atingem uma unidade consumidora em baixa tensão nas áreas urbanas, segundo os estudos efetuados por instituições de pesquisa e desenvolvimento, comentados no item 3.8 do capítulo anterior.

### 4.5.2.5 - Configuração da descarga atmosférica na baixa tensão (BT) próxima ao cliente

Para essa situação, será aplicada uma onda de corrente com um valor de pico de 2 ka na baixa tensão do circuito transformador que atende o cliente.

A figura 4.27 ilustra essa questão.

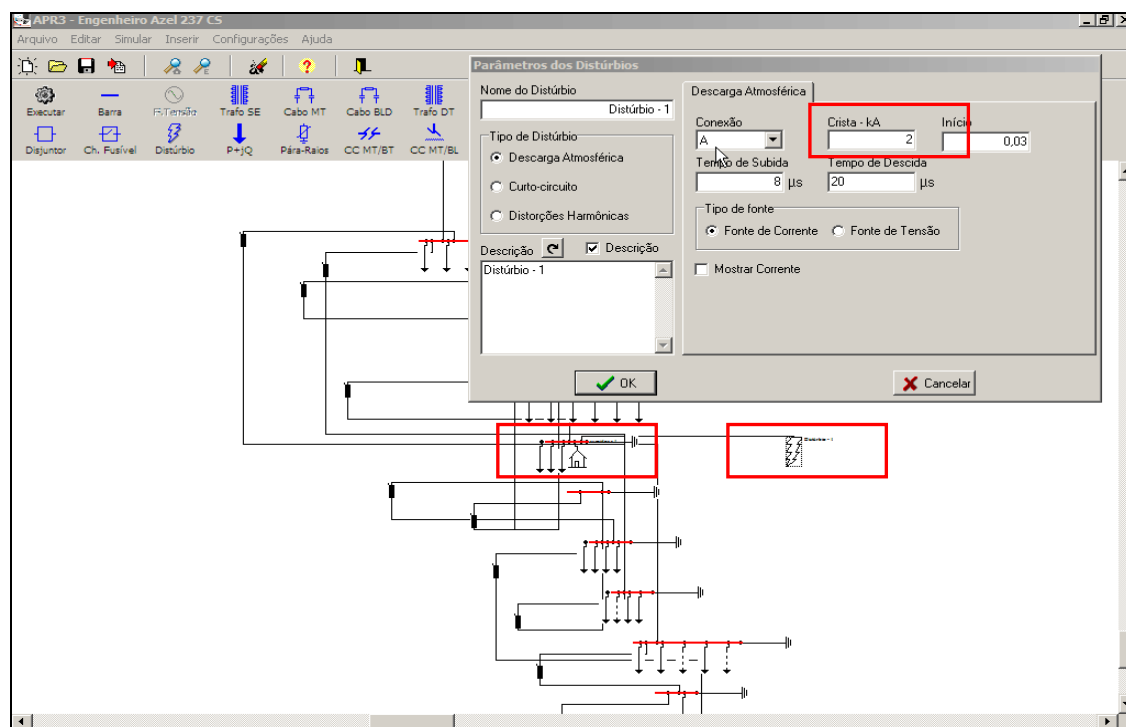
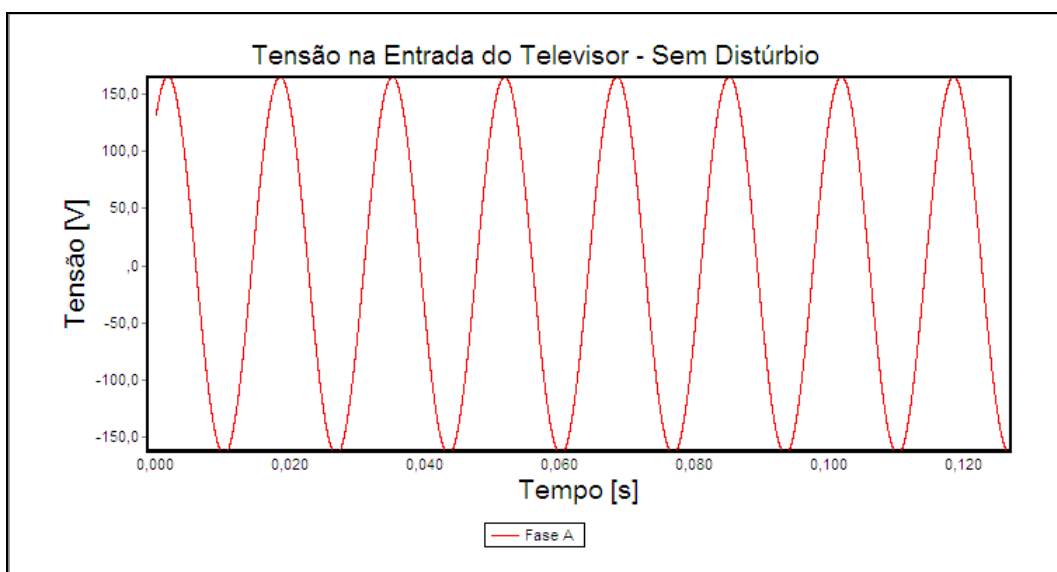


Figura 4.27 - Configuração da descarga atmosférica na baixa tensão próxima ao cliente

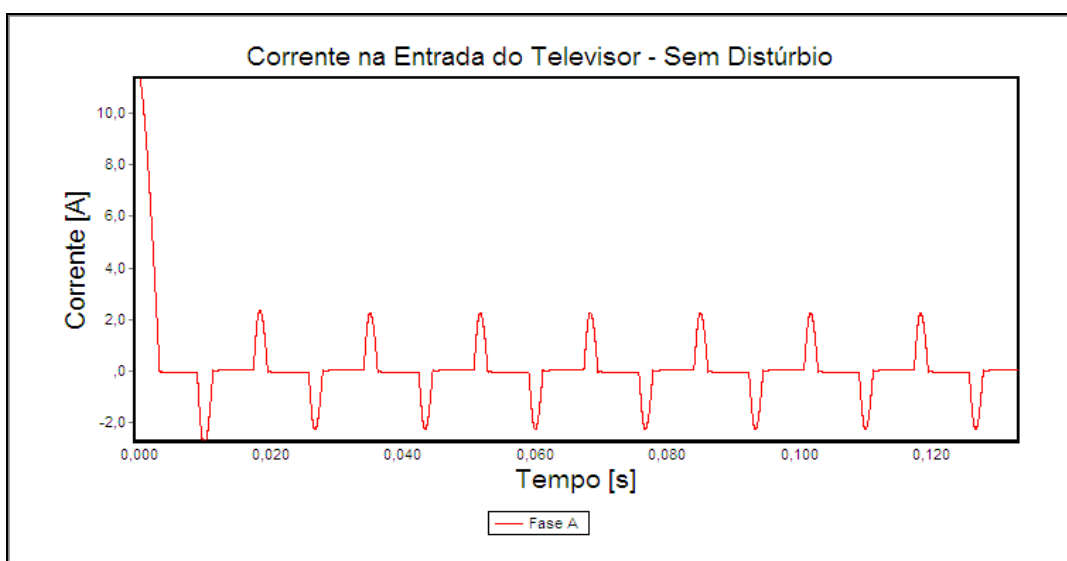


#### **4.5.2.6 - Análise gráfica comparativa dos resultados**

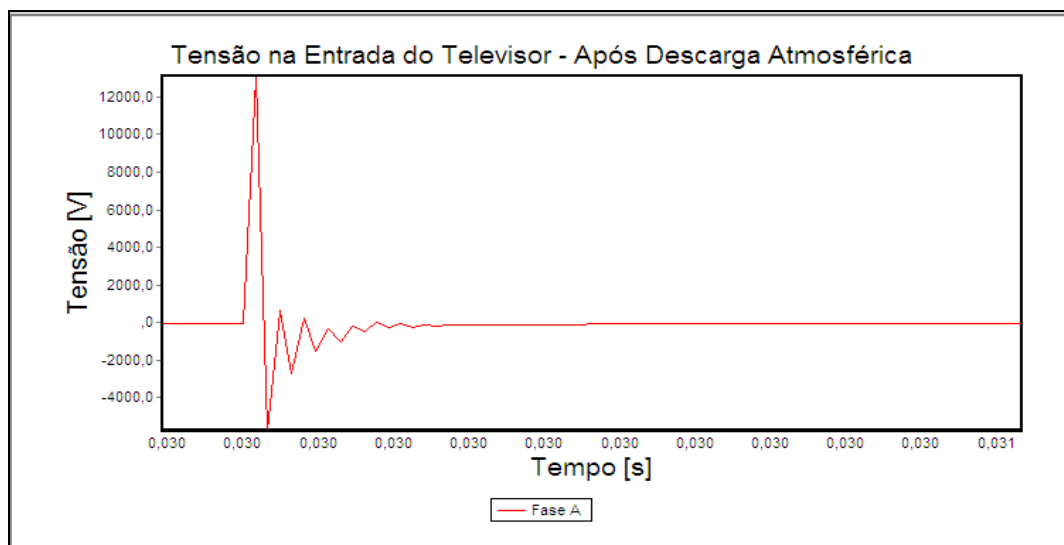
Executando o aplicativo APR já parametrizado para a análise em questão, as Figuras 4.28 (a), (b), (c) e (d) mostram as formas de onda da tensão e da corrente que chegam ao televisor através da rede de distribuição de energia antes e durante a ocorrência da descarga atmosférica.



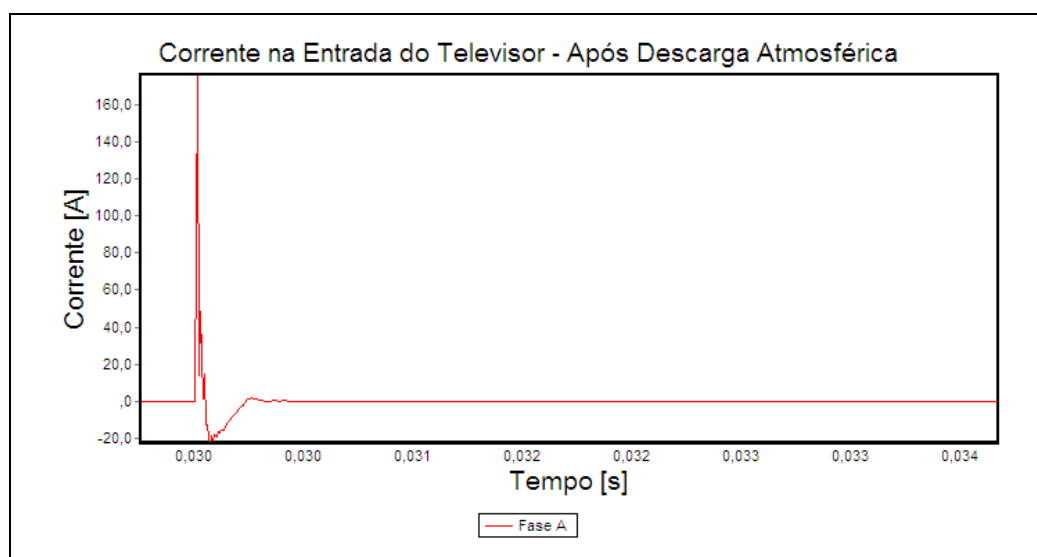
*Figura 4.28 a- Forma de onda da tensão na entrada do televisor antes da descarga atmosférica*



*Figura 4.28 b- Forma de onda da corrente na entrada televisor antes da descarga atmosférica.*



*Figura 4.28 c- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica*



*Figura 4.28 d- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica*

### **C1 – Análise do pedido de ressarcimento, utilizando-se curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores**

Para o caso em questão, a análise será feita utilizando-se a curva do televisor 29”, implementada no APR 3.0 CEMIG e sem o emprego do DPS, pois a unidade consumidora residencial não estava protegida com esse

dispositivo. A figura 4.29 ilustra o processo de seleção da curva de suportabilidade no APR.

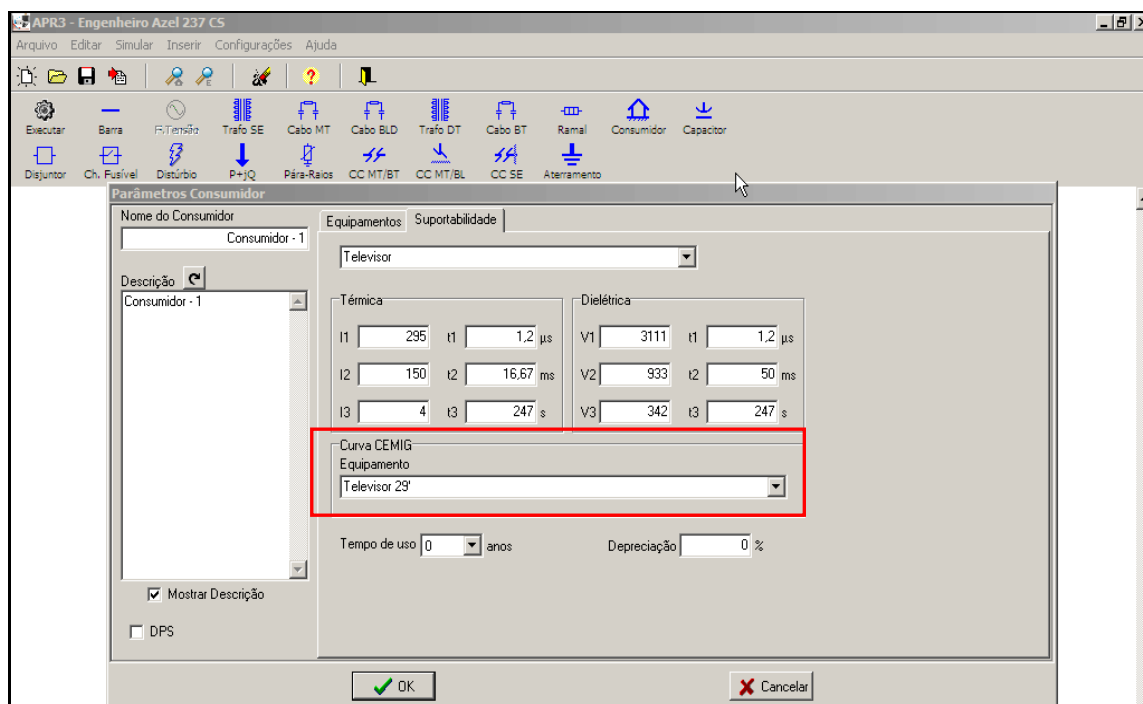


Figura 4.29 – Seleção das curvas mínimas de suportabilidade da TV 29"

Os resultados das solicitações impostas pelo distúrbio ao equipamento são comparados às curvas mínimas de suportabilidade térmica e dielétrica e apresentados nas Figuras 4.30 e 4.31.

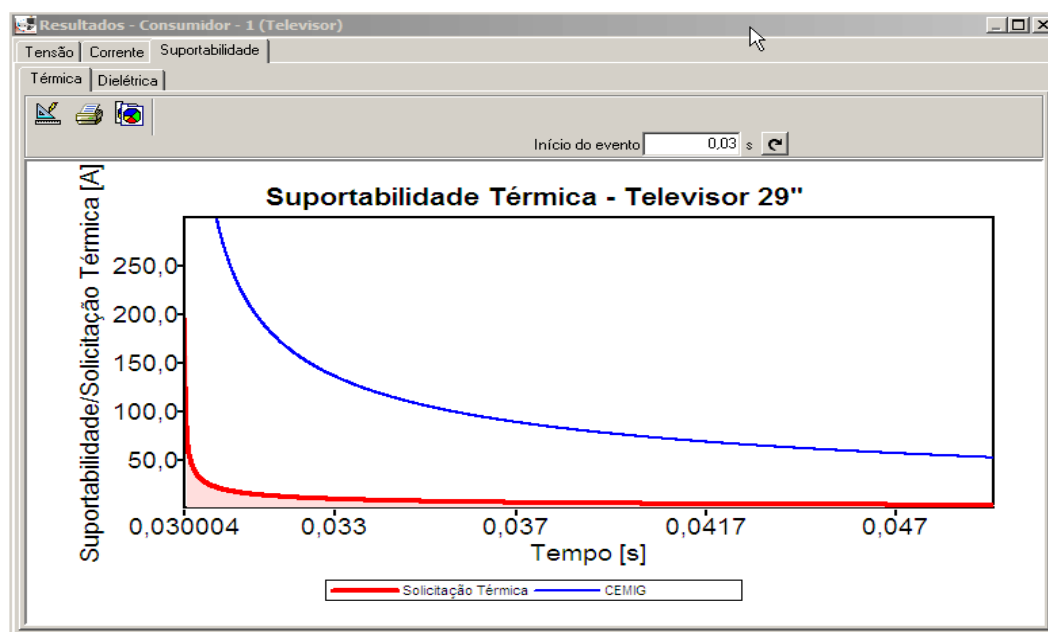
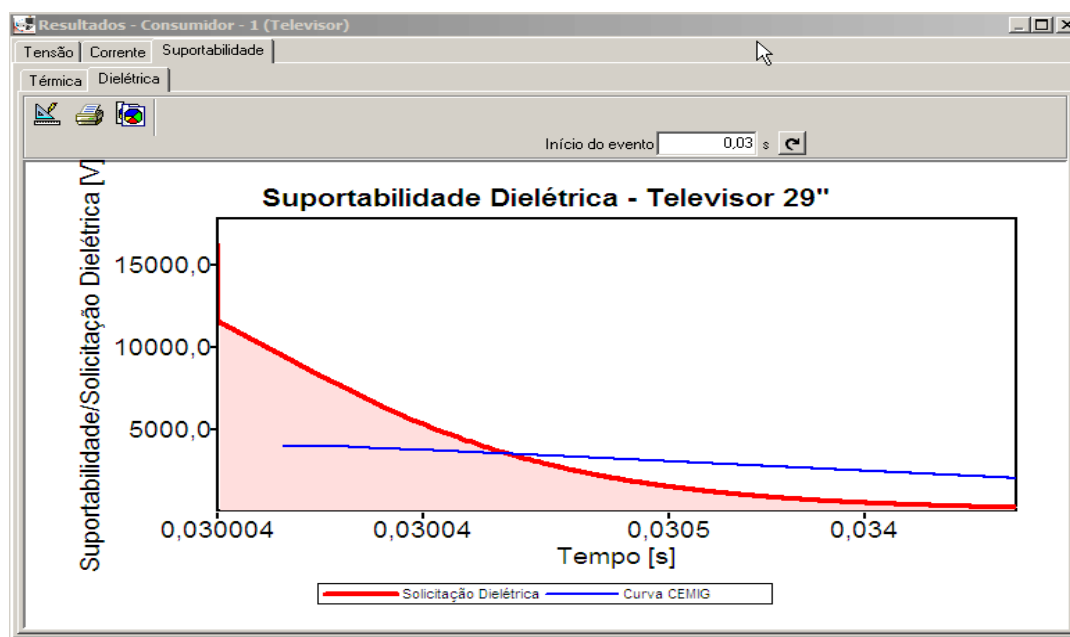


Figura 4.30 - Análise comparativa da solicitação térmica.



*Figura 4.31 - Análise comparativa da solicitação dielétrica.*

O resultado comparativo mostrado na figura 4.30 não evidencia qualquer possibilidade de dano ao equipamento com relação ao seu limite de suportabilidade térmica. No entanto, o resultado registrado na figura 4.31 evidencia que houve uma violação da suportabilidade física do televisor, com relação ao seu limite de suportabilidade dielétrica, delimitado pela curva CEMIG.

Portanto, a análise desse caso real remete a uma solicitação procedente para o pedido de ressarcimento de danos ao equipamento, provocados pela propagação da descarga atmosférica pela rede elétrica de distribuição da concessionária.

## **C2 – Análise do pedido de ressarcimento, utilizando-se as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores com DPS**

Pela análise do caso anterior, observa-se a grande probabilidade de dano físico ao equipamento por conta da violação da sua curva de suportabilidade

dielétrica, quando esse foi submetido a uma descarga atmosférica de 2 ka, que atingiu o circuito de baixa tensão que atende o cliente reclamante.

Utilizando-se os mesmos parâmetros do caso anterior, será empregado o dispositivo de proteção contra surto, para avaliação da sua eficácia como dispositivo mitigador.

### C2.1 – Seleção do equipamento danificado com a proteção do DPS no sistema APR

A Figura 4.32 mostra o processo de seleção do equipamento envolvido no pedido de indenização, a televisão de 29”, assim como a seleção do campo DPS no APR.

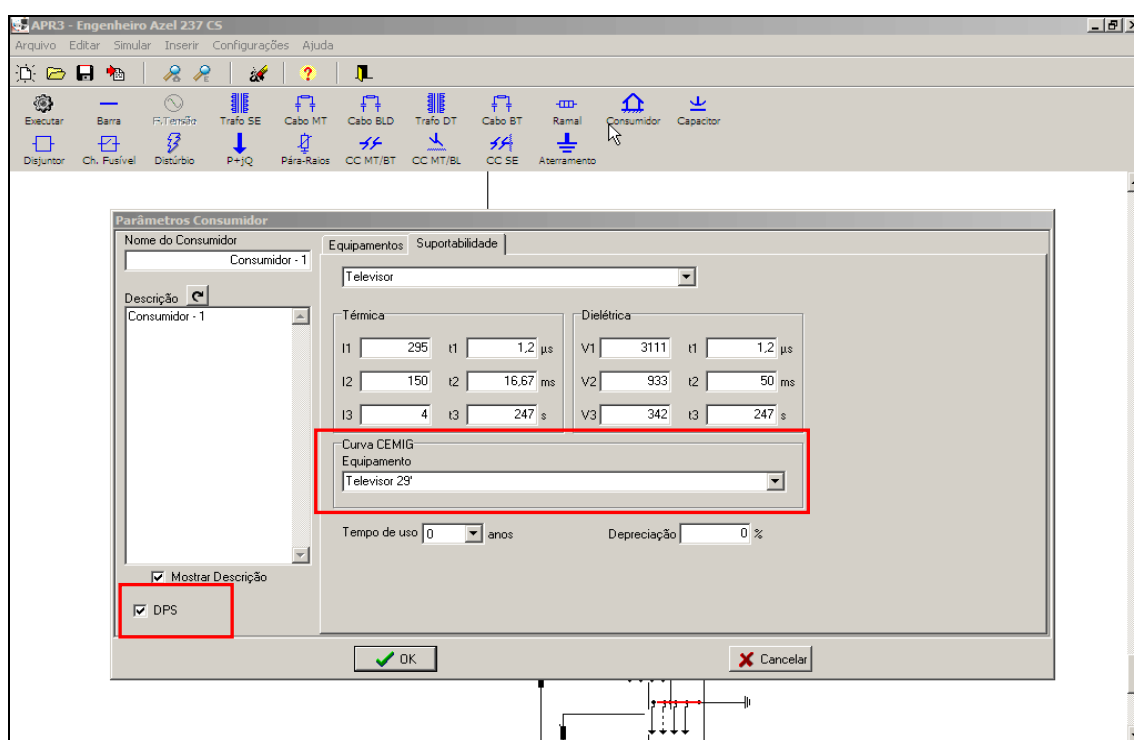


Figura 4.32 – Seleção do televisor 29” a ser analisado no cliente com proteção de DPS.

Estando a rede elétrica já definida conforme mostrado no caso anterior, selecionado o televisor 29” como equipamento para análise com a proteção contra surto, DPS, os passos seguintes no APR são a definição das curvas de

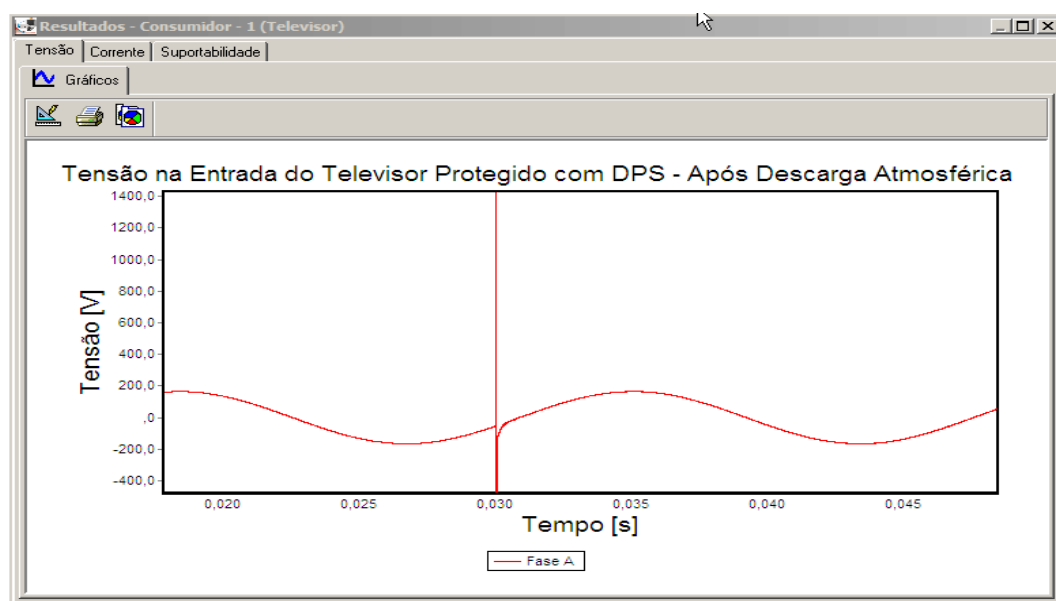
suportabilidade térmica e dielétrica e a configuração da descarga atmosférica de 2 ka na baixa tensão (BT) que atende o cliente.

## **C2.2 - Análise gráfica comparativa dos resultados**

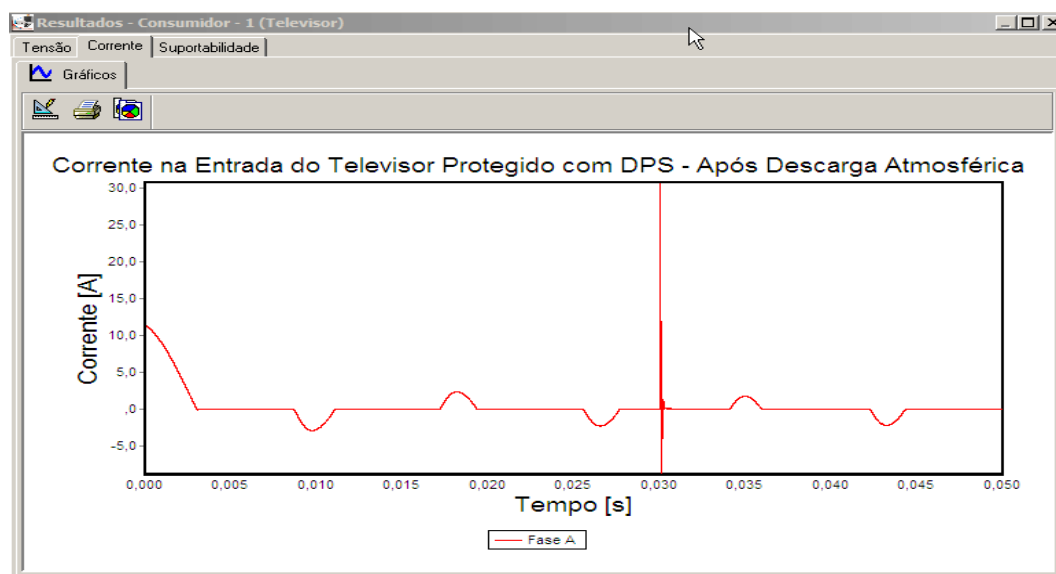
Executando-se o aplicativo APR 3.0 CEMIG com os parâmetros e configurações descritos anteriormente, será possível então, a partir dos resultados obtidos, analisar o comportamento do DPS como dispositivo mitigador para o caso em questão.

Nas Figuras 4.33a e 4.33b estão evidenciadas as formas de onda da tensão e da corrente respectivamente na fonte de alimentação da televisão durante a ocorrência da descarga atmosférica que se propagou pela rede elétrica de baixa tensão.

Nessa situação, o televisor está protegido pelo DPS.



*Figura 4.33a- Forma de onda da tensão na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – com DPS*



*Figura 4.33b- Forma de onda da corrente na entrada de alimentação do televisor após a descarga atmosférica – com DPS*

Comparando-se os resultados da tensão e corrente das Figuras 4.33a e 4.33b do televisor protegido com DPS com os resultados anteriores das figuras 4.28c e 4.28d, sem DPS, pode-se verificar que tanto a tensão quanto a corrente, observadas na entrada do equipamento após a descarga atmosférica, reduziram substancialmente, a saber:

- Tensão na entrada do equipamento sem DPS: 12.500 volts;
- Tensão na entrada do equipamento com DPS: 1.400 volts;
- Corrente na entrada do equipamento sem DPS: 180 amperes;
- Corrente na entrada do equipamento com DPS: 30 amperes.

Os resultados que expressam as solicitações impostas pela descarga atmosférica que atingiu a rede elétrica de baixa tensão e se propagou até o equipamento protegido com DPS são comparados com as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas da televisão de 29" e mostrados nas figuras 4.34 e 4.35.

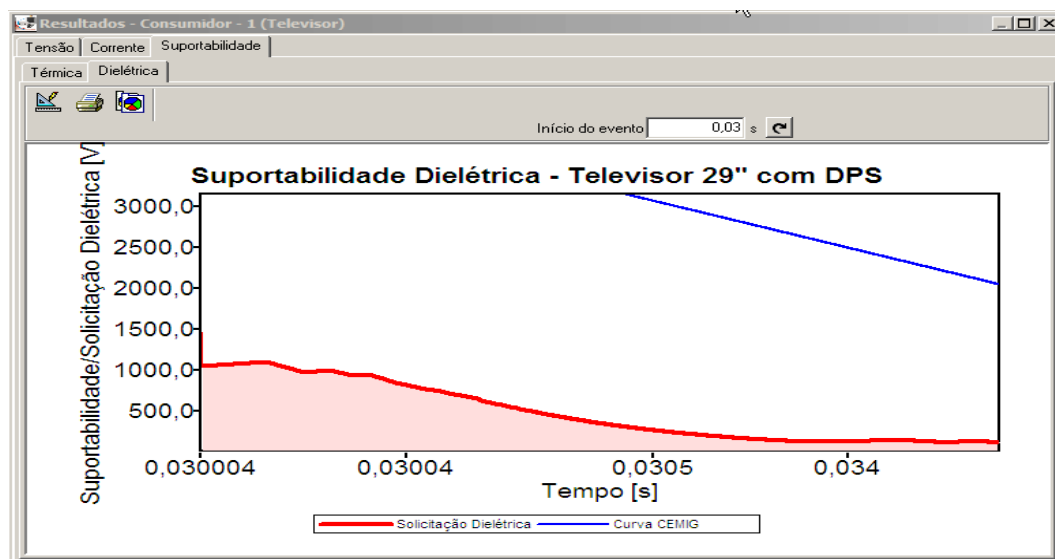


Figura 4.34 - Solicitação dielétrica no televisor diante dos níveis de suportabilidade dielétrica – TV protegida com DPS

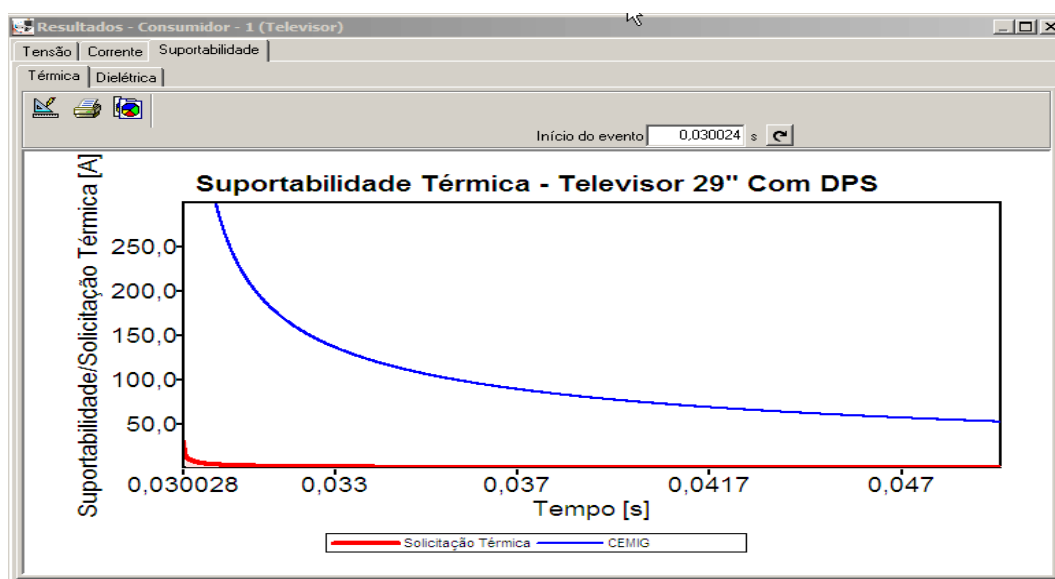


Figura 4.35 - Solicitação térmica no televisor diante dos níveis de suportabilidade térmica – TV protegida com DPS

Os resultados apresentados nas figuras 4.34 e 4.35 permitem concluir que a possibilidade de dano físico ao equipamento é nula, haja vista que as solicitações dielétricas e térmicas que foram impostas ao equipamento estão muito distantes das respectivas curvas de suportabilidade do televisor 29\".



Dessa forma, fica mais uma vez evidenciada a eficácia da atuação do dispositivo supressor de surto, DPS, como dispositivo mitigador.

## **4.6 – Conclusões Finais**

Este capítulo apresentou as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica dos televisores, obtidas pelos trabalhos dessa dissertação, sua implementação no APR 3.0 CEMIG, além do software que faz a interface entre o banco de dados georeferenciados da concessionária e o APR.

Posteriormente, seguindo-se a metodologia de análise de pedidos de ressarcimentos com a utilização do APR 3.0 CEMIG, com o novo conjunto de curvas de suportabilidade, pedidos de clientes de indenização por danos junto a concessionária Cemig D foram analisados.

O primeiro caso real avaliou a solicitação de indenização por dano a uma televisão Philips de 21”. O distúrbio elétrico foi uma descarga atmosférica na rede de média tensão, próxima à residência do cliente.

Na primeira avaliação do pedido de ressarcimento, caso A1, utilizando-se a curva de suportabilidade dielétrica do ITIC, pode-se observar que a solicitação imposta ao televisor foi maior que a curva de suportabilidade delimitada pela conhecida curva, evidenciado a possibilidade de dano ao equipamento.

Conforme mostrado no capítulo 3, a curva ITIC é originária da curva CBEMA que foi originalmente concebida para caracterizar a sensibilidade de computadores. Embora a curva ITIC tenha sido revisada para melhor caracterizar a análise de outros equipamentos eletrônicos e ser utilizada como referência na maioria das publicações, percebe-se que a mesma é bastante rigorosa, quando o equipamento em análise trata-se de um televisor.

No caso A2, a mesma análise foi feita utilizando-se a curva ITIC com a televisão protegida por DPS e, no que tange às questões dielétricas, ficou evidenciada uma possibilidade pequena de danos físicos ao equipamento

mostrando a atuação eficaz do DPS, mesmo quando comparado com a severa curva de suportabilidade ITIC.

A análise do caso B tratou do mesmo pedido de ressarcimento do televisor 21”, porém, utilizando-se as curvas mínimas de suportabilidade dielétrica e térmica - Cemig para o televisor sob investigação. Os resultados mostraram que não ocorreu nenhum tipo de violação ao televisor, tanto com relação ao limite de suportabilidade térmica, quanto ao limite de suportabilidade dielétrica, evidenciando a impossibilidade de danos físicos ao equipamento.

A análise comparativa dos resultados dos casos relatados anteriormente, mostram que ao se utilizar a curva ITIC impõe-se uma severidade desproporcional quando o equipamento em questão é um televisor, podendo levar a concessionária a proceder uma indenização indevida, haja vista que as curvas de suportabilidade mínima não evidenciaram a possibilidade de dano ao televisor.

Tal situação é intrigante, pois o cliente apresentou um equipamento danificado após uma descarga atmosférica, nexos causal, e a análise pelas curvas de suportabilidade mínimas, não evidenciam possibilidade de queima do televisor.

Esse conflito não pôde ser esclarecido, pois a concessionária não tem em seu banco de dados os circuitos ou componentes danificados nesse televisor. Caso a concessionária dispusesse dessa informação, poder-se-ia verificar se o dano ao equipamento se deu pela sua fonte de alimentação ou pelas suas entradas de antena comum ou TV a cabo.

Para esse pedido de ressarcimento e pelo nexos de causalidade verificado, a concessionária indenizou o cliente.

O segundo caso solicita indenização por dano a uma televisão Philips de 29”. O distúrbio elétrico também foi uma descarga atmosférica que supostamente atingiu a rede de baixa tensão que atende o cliente.

Para essa avaliação do pedido de ressarcimento, utilizou-se as curvas de suportabilidade mínima dielétrica e térmica do televisor 29”.

Na avaliação do pedido de ressarcimento, caso C1, observa-se que houve uma violação da suportabilidade física do televisor com relação ao seu limite de suportabilidade dielétrica.

O caso C2 trata-se da mesma análise de pedido de indenização, porém, simulando novamente a proteção do equipamento com DPS e, mais uma vez, ficou evidenciado que o dispositivo contra surto teria sido eficaz, mitigando qualquer possibilidade de dano ao televisor.

Esse pedido de indenização também foi avaliado como procedente pela concessionária e o cliente ressarcido pelo dano.

Atualmente, em muitas concessionárias brasileiras de energia elétrica, o processo de análise de um pedido de ressarcimento de danos, resumiu-se em avaliar a reclamação, verificando se houve registro de interrupção acidental no seu sistema de controle. Caso se confirme o registro em seu banco de dados, de que realmente houve uma interrupção de energia no dia e horas contidos na reclamação do cliente, constata-se então, que houve nexo causal, deferindo a solicitação do cliente como procedente.

Utilizando-se do procedimento acima, a concessionária ao final da sua análise deferiu o pagamento do ressarcimento, indenizando o cliente pelo dano causado ao equipamento, baseado no fato de que na data reclamada houve o registro de interrupção acidental por descarga atmosférica no seu sistema.

Dessa forma, as curvas de suportabilidade obtidas nessa dissertação, aliadas ao APR, aplicativo computacional dedicado a subsidiar a análise técnica dos pedidos de ressarcimento, ao ATP (Alternative Transients Program) , ao software que faz a importação do banco de dados georeferenciado da concessionária, podem contribuir significativamente para a melhoria do processo de análise de pedidos de ressarcimentos, quando de danos a televisores

provocados por distúrbios na rede elétrica. A sua precisão, confiabilidade do banco de dados georeferenciados da concessionária, a simplificação do processo de análise de pedidos de ressarcimento, reduzindo homem hora aplicado, são de fato grandes avanços nessa área de ressarcimentos.

Nos estudos de casos, mostrados anteriormente, pode-se observar a facilidade com que se chega a conclusão de danos ao equipamento, definindo assim pelo deferimento ou não dos pedidos de indenização solicitados pelos clientes à concessionária.

Por fim, nesse processo de avaliação do pedido de ressarcimento há de se verificar com mais atenção os componentes danificados nos televisores, haja vista que em todos os testes realizados somente os componentes da fonte de alimentação danificaram-se. Isso sugere que descargas atmosféricas podem danificar os equipamentos via outros meios, além da rede de energia elétrica, como, por exemplo, via TV's a cabo, indução de descargas atmosféricas gerando sobretensão nas antenas externas, etc.

## CAPÍTULO V

---

### Conclusões Gerais

À luz das atividades realizadas nessa dissertação, o presente capítulo concentra-se na apresentação de uma síntese dos aspectos de maior relevância alcançados. Desta forma, apesar das diversas constatações e conclusões já feitas ao final de cada capítulo, considera-se relevante ressaltar alguns pontos, conforme descritos a seguir.

#### **a) Capítulo I - Atualidade e importância do tema qualidade de energia e principais contribuições desse trabalho**

O capítulo I apresentou, em termos gerais, a atualidade e importância do tema "Qualidade da Energia Elétrica", focado na influência que a mesma tem nas características de operação dos diversos equipamentos. Neste sentido, foram apresentados os principais trabalhos que relatam sobre o inter-relacionamento entre os distúrbios da rede elétrica e os impactos sobre os mais distintos equipamentos existentes em redes elétricas residenciais e comerciais e, de forma mais restrita, em algumas instalações industriais. Assim, após levantamento bibliográfico, ficou evidenciado o estado da arte sobre os estudos voltados para o desempenho, sensibilidade e suportabilidade de equipamentos. Isto posto, detectou-se as áreas de carência e estabeleceu-se os horizontes da presente dissertação.

Assim, o capítulo I também apresentou de forma resumida as principais contribuições dessa dissertação que procurou aprimorar e consolidar o aplicativo computacional APR, são elas:

- a) Levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de televisores;
- b) Dispositivos mitigadores – DPS;
- c) Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização dos ensaios destrutivos;
- D) Estudos de casos reais utilizando interface para integração do banco de dados georeferenciados da CEMIG e o APR 3.0;
- F) Melhoria da qualidade do serviço prestado.

## **b) Capítulo II - Levantamento estatístico**

Este capítulo apresentou em detalhes o levantamento estatístico fornecido pela CEMIG Distribuição S.A., com informações das suas regionais do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Essas informações permitiram uma comparação entre o custo financeiro e a quantidade indenizada de cada produto, correspondente ao período de 2008 a 2010, além de caracterizar os principais produtos e impactos de distúrbios ocorridos na rede elétrica.

A obtenção de um levantamento estatístico junto à concessionária, associado aos pedidos de ressarcimento e à observação de gráficos e tabelas, foram de grande valia, pois permitiram destacar os principais equipamentos, bem como as marcas e os modelos mais envolvidos nos pedidos de ressarcimento por danos, diante de distúrbios ocorridos na rede de distribuição de energia.

Pode-se observar também que das solicitações por ressarcimento junto à concessionária, as descargas atmosféricas e os religamentos automáticos são os principais causadores de danos físicos aos equipamentos eletrônicos.

Desta maneira, após a análise das tabelas apresentadas no capítulo II, concluiu-se que os televisores respondem por 25% dos equipamentos dos pedidos procedentes de ressarcimento, assim como 25% dos gastos financeiros da concessionária para as devidas indenizações.

De posse destes dados estatísticos, utilizou-se os equipamentos de TV adquiridos no P&D-238 entre Cemig D e Universidade federal de Uberlândia, para elaboração de uma série de ensaios laboratoriais, objetivando a elaboração das curvas de suportabilidade desses equipamentos.

### **c) Capítulo III - Análise da suportabilidade térmica e dielétrica das TV's**

Esse capítulo avaliou as solicitações dielétricas e térmicas impostas aos televisores, visando a construção de suas respectivas curvas de suportabilidade.

A fim de avaliar a consistência dos pedidos de ressarcimento por danos nos equipamentos, quando da ocorrência de fenômenos elétricos nas redes de distribuição, o princípio básico seguido foi estruturado na comparação entre os níveis dos distúrbios e os correspondentes padrões de suportabilidade dos produtos sob análise.

Dentro deste contexto, a fundamentação física da metodologia proposta foi alicerçada na determinação de duas grandezas básicas vinculadas ao funcionamento dos equipamentos, solicitação térmica e solicitação dielétrica.

Para a conversão do distúrbio elétrico em uma curva indicativa do comportamento da tensão ao longo do tempo, o procedimento adotado nesta pesquisa consistiu em discretizar o período de duração do distúrbio e calcular, para cada instante, um indicador que represente o efeito cumulativo da tensão.

Da mesma forma, similar a tensão de suprimento, procede-se à transformação dos efeitos associados com as alterações ocorridas nas formas de onda das correntes dos equipamentos em impactos térmicos.

Embora não se encontrou nenhum documento que fizesse referência a esta questão, esse trabalho avançou no sentido de contribuir para o estabelecimento de uma metodologia para a definição da curva da suportabilidade térmica dos televisores. Assim, optou-se pela utilização do conceito da integral de joule ( $I^2t$ ), por representar os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma situação de sobrecorrente.

Os trabalhos descritos nesta etapa também se voltaram para a sistematização de uma estrutura laboratorial e conseqüente realização de ensaios na frequência industrial. Esses ensaios foram realizados na Universidade Federal de Uberlândia.

Posteriormente, foram elaborados e conduzidos ensaios experimentais destrutivos, com aplicações de impulsos de tensão e de corrente com características similares às perturbações associadas com as descargas atmosféricas. Para tanto, utilizou-se das instalações do laboratório de alta tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Resumindo, de um modo geral, os televisores analisados apresentaram-se sensíveis aos fenômenos relacionados com os casos de sobretensões aplicadas, traduzindo em valores RMS e de pico distintos dos patamares nominais. Estes fenômenos em algumas situações danificaram o equipamento, contribuindo para a elaboração das curvas de suportabilidade dielétrica.

Da mesma forma, quando submetidos aos ensaios de impulsos de correntes, simulando uma descarga atmosférica na sua típica forma de onda, todos os equipamentos danificaram-se, contribuindo com informações para a elaboração das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica.



#### **d) Capítulo IV - Curvas de suportabilidade dos televisores e estudos de casos**

Embora a constatação da grande relevância do tema e crescente interesse mundial dos pesquisadores, a polêmica dos estudos de ressarcimento de danos é sustentada, principalmente, devido ao fato das dificuldades na obtenção das curvas de suportabilidade dos produtos eletrodomésticos. Adicionalmente, a diversidade de marcas e modelos implica em pesquisas onerosas e sem atrativos para que esta informação venha de uma iniciativa tomada pelos próprios fabricantes.

Assim, esse capítulo evidenciou os diversos ensaios que foram realizados cujos resultados, permitiram confrontar os indicadores das solicitações dielétricas e térmicas impostas aos televisores, com vistas a verificar a possibilidade de danos físicos aos mesmos em função de suas respectivas curvas de suportabilidade.

A bateria de ensaios laboratoriais tanto na frequência industrial, quanto os de impulsos de corrente, simulando as descargas atmosféricas, foram determinantes para a elaboração de curvas específicas e mais confiáveis para os televisores.

Por fim, todo o trabalho culminou na obtenção de curvas de suportabilidade próprias, em consonância com a demanda e realidade vivenciada pela CEMIG-D.

Ressalta-se também a grande contribuição que foi a obtenção das curvas de suportabilidade térmica, além da melhoria das curvas de suportabilidade dielétrica para os televisores, que aliadas ao APR 3.0, aplicativo dedicado a subsidiar a análise dos pedidos de ressarcimento, ao ATP (Alternative Transients Program) e ao software que faz a importação do banco de dados da concessionária, darão significativas contribuições para a melhoria do processo

de análise de pedidos de ressarcimentos, conferindo mais precisão e confiabilidade a análise.

Os estudos de casos reais consistiram em comparar as curvas de solicitações dielétricas e térmicas calculadas pela metodologia supramencionada com as respectivas curvas de suportabilidade obtidas nessa dissertação.

A partir de uma solicitação de um cliente à concessionária Cemig D, uma análise de um caso real de pedido de ressarcimento de um televisor Philips de 21”, foi feita, estando a mesma associada a uma provável descarga atmosférica que teria atingido a média tensão, próxima ao cliente.

Na análise dessa solicitação foram utilizadas as curvas ITIC com e sem o emprego dos dispositivos mitigadores, DPS’s, assim como as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores. Ao final da análise, pode-se observar cada resultado, a eficácia do DPS, comparar os resultados obtidos e o parecer da concessionária para o pedido de ressarcimento.

Um segundo pedido de ressarcimento á Cemig D, também foi analisado e tratou-se de um caso real, onde o cliente solicitou indenização por dano a um televisor Philips de 29”, que teria sido avariado após uma descarga atmosférica, que supostamente teria incidida sobre a baixa tensão que atende a unidade consumidora reclamante.

Para essa análise foram utilizadas as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica mínimas dos televisores com e sem a proteção dos dispositivos mitigadores de surto.

Da mesma forma, pode-se comparar os resultados obtidos, a eficácia do DPS e a decisão de indenização por parte da concessionária de energia elétrica.

Os estudos de casos reais também puderam mostrar a facilidade com que se chega a conclusão de danos ao equipamento, definindo assim pelo deferimento ou não dos pedidos de indenização solicitados pelos clientes à concessionária.

## Referências Bibliográficas

---

- [1] DUGAN R. C., MCGRANAGHAN M. F., SANTOSO S., BEATY H. W., “Electrical power systems quality”, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, Nova York, 2002.
- [2] BOLLEN M. H. J., “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [3] OLIVEIRA H. R. P. M., JESUS N. C., MARTINEZ M. L. B., “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaio de Sobretensões”, XVIII SNPTEE, Curitiba/PR, outubro de 2005.
- [4] 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, maio de 2005.
- [5] ERMELER K., PFEIFFER W., SCHOEN D., SCHOCKE M., “Surge Immunity of Electronic Equipment”, IEEE - Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.
- [6] 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.
- [7] TAVARES C. E., “Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores”, Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia/MG, 2008.
- [8] TAVARES C. E., "Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios da Qualidade da Energia – Enfoque: Televisores, VCR's e Som", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, maio de 2004.

- [9] MENDONÇA M. V. B., “Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos”, Tese de doutorado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Uberlândia/MG, 2010.
- [10] Silva O. A., “Metodologia para Subsidiar a Análise de Solicitações de Ressarcimento por Danos, utilizando-se Dispositivos de Proteção Contra Surtos”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, outubro de 2010.
- [11] Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. C., Martins E. A., Ávila C. J.. “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" P&D-238 CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 01 / ano 02, agosto de 2009.
- [12] Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. C., Martins E. A., Ávila C. J.. “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" P&D-238 CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 02 / ano 02, abril de 2010.
- [13] Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. C., Martins E. A., Ávila C. J.. “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" P&D-238 CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 04 / ano 01, abril de 2009.